

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KONDUİTLE DESTEKLENMİŞ FLOTASYON
KOLONUNDA HAVA ALMA HOLÜ FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN FLOTASYON PERFORMANSINA
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Kürşat ŞEKERCİ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Cihat TUNA

ARALIK-2017

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONDUİTLE DESTEKLENMİŞ FLOTASYON KOLONUNDA
HAVA ALMA HOLÜ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
FLOTASYON PERFORMANSINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kürşat ŞEKERCİ
151115103**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Hidrolik**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Cihat TUNA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 21 Kasım 2017

Tezin teslim Tarih: 15 Aralık 2017

ARALIK-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONDUİTLE DESTEKLENMİŞ FLOTASYON KOLONUNDA HAVA ALMA HOLÜ

FİZİKZEL ÖZELLİKLERİNİN FLOTASYON PERFORMANSINA ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Kürşat ŞEKERCİ

151115103

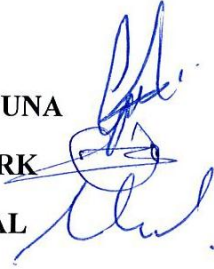
Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Danışman: Yrd.Doç.Dr.M.Cihat TUNA

Prof.Dr.Mualla ÖZTÜRK

Prof.Dr.Mehmet ÜNSAL



ARALIK-2017

ÖNSÖZ

Bu tezin önerilmesi ve hazırlanmasında benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Muhammed Cihat TUNA'ya laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Enes TEKİN, Sergen KARATAŞ ve Enes Said RAMADAN'a, tez yazım sürecinde yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Bilal BALUN ve Arş. Gör. Erdinç İKİNCİOĞULLARINA'na ve sürekli yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kürşat ŞEKERCİ

ELAĞIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam Ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amaç Ve Kapsamı	1
1.3. Flotasyonun Tarihçesi	2
2. FLOTASYON.....	4
2.1. Hava Flotasyonunun Teorisi	4
2.1.1. Kabarcık Boyutu	6
2.1.2. Kabarcığın Oluşumu ve Gözlemlenmesi	7
2.1.3. Hava Kabarcıklarının Yükseliş Oranı	7
2.1.4. Hava-katı oranı.....	8
2.1.5. Gazın Aktarımı, Çözülmesi Ve Flotasyon	9
2.1.6. Kabarcığın Bağlanması, Yükselmesi ve Flotasyon.....	9
2.2. Çözünmüş Hava Flotasyonu	10
2.3. Jet (Nozzle) Hava Flotasyonu	11
2.4. Flotasyon Yöntemi Üzerine Yapılmış Literatür Çalışmaları	11
3. HAVALANDIRMA	15
3.1. Serbest Yüzeyli Akım Sistemleri	16
3.2. Savaklar.....	16
3.2.1. Basamaklı Kaskatlar	17
3.2.3. Serbest yüzeyli kondüitler.....	18
3.3. Basıncılı Akım Sistemleri	19
3.3.1. Su Jetleri.....	19
3.3.2. Venturiler	19

3.3.3.	Basınçlı Konduitler	20
3.4.	Havalandırma yöntemi üzerine yapılmış literatür çalışmaları	22
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
4.1.	Materyal ve Metot.....	28
4.2.	Deneyin Yapılışı	35
4.3.	Bulgular ve Değerlendirmeler.....	38
4.3.1.	Hava Alma Holü Uzunluğunun Havalandırma Performansına Etkisi	38
4.3.2.	Hava Alma Holü Çapının Havalandırma Performansına Etkisi	42
4.3.3.	Konduit Açıklık Oranlarının Havalandırma Performansına Etkisi.....	46
4.3.4.	Farklı Hol Boyu, Hol Çapı ve Konduit Açıklık Oranlarına Bağlı Maksimum Debilerde Meydana Gelen Kabarcıkların Gözlemlenmesi	50
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
	KAYNAKLAR	68
	ÖZGEÇMİŞ.....	74

ÖZET

Flotasyon işlemi, metalik ve metalik olmayan cevherlerin işlenmesi, evsel ve endüstriyel kaynaklı atık suların tasfiyesi, maden işleme tesislerinde cevher yüzdürme gibi birçok amaç için kullanılmaktadır. Flotasyon işlemi büyük ölçüde havalandırma ve oksijen transferine dayanmaktadır. Fiziksel olarak oksijenin atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılması işlemine havalandırma adı verilir. Su mühendisliği prensipleri kullanılarak su içerisine kısa bir zaman zarfında önemli miktarda hava kabarcığı transferi yapılabilir. Günümüzde havalandırılma işleminde bazı hidrolik yapılar kullanılmaktadır. Kondüitler bunların en önemlileridir. Konduit kapağının daraltılması sonucunda yüksek su hızı ve oldukça düşük bir basınç meydana gelmektedir. Bu düşük basınç daraltma bölgesi mansabında bir vakumlama etkisi meydana getirir. Vena contracta bölgesi olarak bilinen bu kısımda atmosfere açılan bir hava holü(baca) yardımıyla dış ortamdan alınan hava, kabarcıklar halinde suya karışmış olur. Hava girişi, konduit kapağı vasıtasıyla sağlanan düşük basıncın atmosfer basıncı ile dengelenmesinden kaynaklanmaktadır. Çok sayıda kabarcık şeklinde akıma sürüklenen hava, oksijen transferini hızlandırır ve dolayısıyla havalandırma verimliliğini artırır.

Bu çalışmada, yüksek basınçlı bir kondüit, flotasyon kolonuna (hücreesine) entegre edilerek sisteme hava kabarcığı girişinin sağlanması amaçlanmıştır. Geliştirilen pilot ölçekli yeni sistemde konduit açıklık oranı ile hava alma holünün uzunluğu ve çapı gibi fiziksel parametrelerin havalandırma performansı ve flotasyon verimine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak; bu yeni sistem sayesinde flotasyon kolonuna (hücreesine) çok yüksek miktarda hava kabarcığı girişi sağlanmıştır. Ayrıca hücre içerisine giren havanın miktarı üzerinde hava alma holü (bacası) fiziksel özelliklerinin de önemli etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Flotasyon, Hidrolik yapılar, Havalandırma, Yüksek basınçlı konduit

SUMMARY

The Effect Of Physical Properties of Air Intake Hole on Flotation Performance in Flotation Column Supported With Conduits

The process of flotation is used for several purposes, such as; processing metallic and non-metallic ores, decontaminating domestic and industrial wastewater, ore flotation in ore processing plants. The process of flotation is majorly based on aeration and oxygen transfer. The process of regaining oxygen into the water by physically taking oxygen from atmosphere is called aeration by using the hydraulic engineering principles, substantial amount of air bubble can be transferred into the water in a short time. At the present time, some hydraulic structures are used in the process of aeration. Conduits are the most important among these. As a result of throttling(narrowing), the velocity of conduit, high water velocity and fairly low pressure occur. This low pressure brings about a vacuum effect in the constriction region. In this region, also known as "vena contracta" ambient air blends into the water in bubbles with the aid of an aeration tank opened to the atmosphere. Air intake, is derived from balancing low pressure provided by closed conduit with the atmospheric pressure. Several bubble shaped drifting air fastens the oxygen transfer and thus increases the aeration efficiency.

In this study, provision of air bubble entry is intended by integrating a high-head conduit to flotation cell. In the developed new pilot scale system, the effects of physical parameters like conduit opening ratio and the length and diameter of the aeration tank, on aeration performance and flotation yield are experimentally searched. As a conclusion remark, thanks to this new system, a very high amount of air bubble entry into the flotation cell is provided. Furthermore, it is observed that the physical features of the aeration tank has significant effects on the amount of air entering the cell.

Keywords: Flotation, Hydraulic Structures, Aeration, High-head conduit

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Çözünmüş hava flotasyonunda kabarcık/damlacık oluşum ve yapışma mekanizmaları.....	5
Şekil 2.2.	Musluk suyundaki kabarcıkların yükselme oranı.	8
Şekil 2.3.	Bir gaz kabarcığı içindeki basınç.....	9
Şekil 2.4.	Gaz kabarcıkları üzerine katıların tutturulması	10
Şekil 3.1.	Savak akımı	16
Şekil 3.2.	Savaklarda hava giriş mekanizmaları	17
Şekil 3.3.	Basamaklı kaskatlarda akım tipleri (a) nap akımı; (b) geçiş akımı; (c) sıçramalı akım.....	18
Şekil 3.4.	Serbest yüzeyli konduitte iki fazlı akım	18
Şekil 3.5.	Su Jeti	19
Şekil 3.6.	Bir venturi aygıtının görünümü	20
Şekil 3.7.	Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı	20
Şekil 3.8.	Tedrici olarak daralan yüksek basınçlı dairesel konduit.....	21
Şekil 3.9.	Kapaklı konduit içerisinde oluşan iki fazlı akım rejimleri; a) sadece hava akışı, b) sprej (püskürtme şeklinde) akım, c) serbest yüzeyli akım, d) köpüklü akım, e) hidrolik sıçrama 1, f) hidrolik sıçrama 2, g) sadece su akışı	21
Şekil 4.1.	Deney düzeneği	29
Şekil 4.2.	Tedrici olarak daralan yüksek basınçlı konduite holün eklenmesi	29
Şekil 4.3.	Konduit Kapak Açıklıkları ile hava alma deliği en kesit görünümü	29
Şekil 4.4.	Farklı uzunluk ve çaptaki hava alma holü	30
Şekil 4.5.	Flotasyon hücresi	30
Şekil 4.6.	Deneylerde kullanılan konduitlerin boykesitleri	32
Şekil 4.7.	Hava hızı ölçümlerinde kullanılan anemometre	32
Şekil 4.8.	Krohne marka elektromanyetik debimetre	34
Şekil 4.9.	Pompa	35
Şekil 4.10.	Konduitle desteklenmiş flotasyon hücresi	36
Şekil 4.11.	Flotasyon hücresi	36
Şekil 4.12.	Deneylerde kullanılan 3 farklı açıklık oranına sahip tedrici daralan konduit...	37

Şekil 4.13. Farklı uzunluk ve çaptaki polyemit türevli holler.....	37
Şekil 4.14. Yüksek basınçlı konduite hava holü eklenmesi.....	38
Şekil 4.15. (a),(b),(c) %10 Kapak açıklık oranında hava holü uzunluğunun Q_a/Q_w ile değişimi.....	39
Şekil 4.16. (a),(b),(c) %30 Kapak açıklık oranında hava holü uzunluğunun Q_a/Q_w ile değişimi.....	40
Şekil 4.17. (a),(b),(c) %40 Kapak açıklık oranında hava holü uzunluğunun Q_a/Q_w ile değişimi.....	41
Şekil 4.18. (a),(b),(c) %10 Kapak açıklık oranında hava holü çapının Q_a/Q_w ile değişimi.....	43
Şekil 4.19. (a),(b),(c) %30 Kapak açıklık oranında hava holü çapının Q_a/Q_w ile değişimi.....	44
Şekil 4.20. (a),(b),(c) %40 Kapak açıklık oranında hava holü çapının Q_a/Q_w ile değişimi.....	45
Şekil 4.21. (a),(b),(c) $d=15\text{mm}$ hol çapı için farklı hol uzunluklarında konduit açıklık oranı etkisi	47
Şekil 4.22. (a),(b),(c) $d=30\text{mm}$ hol çapı için farklı hol uzunluklarında konduit açıklık oranı etkisi	48
Şekil 4.23. (a),(b),(c) $d=35\text{mm}$ hol çapı için farklı hol uzunluklarında konduit açıklık oranı etkisi	49
Şekil 4.24. $HL=10\text{ cm}$ hol boyu, $d=15\text{ mm}$ hol çapı ve $K=\%10$ konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	50
Şekil 4.25. $HL=10\text{ cm}$ hol boyu, $d=30\text{ mm}$ hol çapı ve $K=\%10$ konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	51
Şekil 4.26. $HL=10\text{ cm}$ hol boyu, $d=35\text{ mm}$ hol çapı ve $K=\%10$ konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	51
Şekil 4.27. $HL=15\text{ cm}$ hol boyu, $d=15\text{ mm}$ hol çapı ve $K=\%10$ konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	52
Şekil 4.28. $HL=15\text{ cm}$ hol boyu, $d=30\text{ mm}$ hol çapı ve $K=\%10$ konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	53
Şekil 4.29. $HL=15\text{ cm}$ hol boyu, $d=35\text{ mm}$ hol çapı ve $K=\%10$ konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	53

Şekil 4.30. HL=20 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	54
Şekil 4.31. HL=20 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	54
Şekil 4.32. HL=20 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	55
Şekil 4.33. HL=10 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	56
Şekil 4.34. HL=10 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	56
Şekil 4.35. HL=10 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	57
Şekil 4.36. HL=15 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	57
Şekil 4.37. HL=15 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	58
Şekil 4.38. HL=15 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	58
Şekil 4.39. HL=20 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	59
Şekil 4.40. HL=20 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	59
Şekil 4.41. HL=20 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	60
Şekil 4.42. HL=10 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	60
Şekil 4.43. HL=10 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	61
Şekil 4.44. HL=10 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	61
Şekil 4.45. HL=15 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	62

Şekil 4.46. HL=15 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	62
Şekil 4.47. HL=15 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	63
Şekil 4.48. HL=20 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	63
Şekil 4.49. HL=20 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	64
Şekil 4.50. HL=20 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar.....	64



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Büyüklüğün bir fonksiyonu olarak kabarcıklanma hızı	8
Tablo 4.1. %10 açıklık için Hesaplanan Fr değerleri.....	33
Tablo 4.2. %30 açıklık için Hesaplanan Fr değerleri.....	34
Tablo 4.3. %40 açıklık için Hesaplanan Fr değerleri.....	34



SEMBOLLER LİSTESİ

K	: Konduit Açıklık Oranı (%)
HL	: Hava Holü(Bacası) Uzunluğu (cm)
d	: Hava holü(bacası) genişliği (mm)
v_t	: Aglomeratın yükselme hızı, cm/s
G	: Yerçekimi sabiti, 980 cm/s ²
D	: Aglomeratın etkin çapı, cm
ρ_a	: Aglomeratın yoğunluğu, g/cm ³
ρ_0	: Sulu faz yoğunluğu, g/cm ³
φ	: Sulu fazın viskozitesidir
A_c	: Su prizmasının kesit alanı (m ²)
A_t	: Konduitin kesit alanı (m ²)
Q_a	: Havanın debisi lt/sn
Q_A	: Havanın debisi lt/sn
Q_w	: Suyun debisi lt/sn
β	: Hava giriş oranı
Fr	: Froude Sayısı
ϕ	: Akımın kesit alanının borunun kesit alanına oranı
V_c	: Vena contracta bölgesindeki hız m/sn
g	: Yer çekimi ivmesi m/sn ²
h_c	: Vena contracta bölgesinde akım derinliği (m)
Q_w	: Su debisi lt/sn
B	: Konduit genişliği (m)
h_c	: Vena contracta bölgesindeki akım derinliği (m)
C_c	: Katsayı
h	: kapak açıklık miktarı (m)

KISALTMALAR LİSTESİ

CO₂	: Karbon Dioksit
DAF	: Dissolved Air Flotation (Çözünmüş Hava Flotasyonu)
USACE	: United States Army Corps of Engineers



1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam Ve Önemi

Flotasyon minerallerin yüzey/ara yüzey yani fiziksel özelliklerinden faydalanılarak geliştirilmiş bir yöntem olup, ince katı partiküllerin sıvı içinde meydana getirilmiş olan hava veya gaz kabarcıklarına yapışarak yüzeye taşınması prensibine dayanır (Çilek,2006; Pryor,1965)

Birçok farklı uygulaması olan bu işlemin en geniş ölçüde yararlanılan türü havalandırmayla yapılan flotasyondur.

Havalandırma yöntemi ile flotasyon su içerisinde askı halinde bulunan katı tanelerin hava kabarcıkları sayesinde yüzdürülerek yüzeyde biriktirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir

Günümüzde, geri dönüşü mümkün kağıtlardan mürekkebin temizlenmesine atık sularda askı halinde mevcut olan katı madde ve yağların uzaklaştırılması şeklinde atık su arıtımında, fabrika ve endüstriyel atıklardan ağır metallerin uzaklaştırılmasında, et ve süt piyasasında yağların uzaklaştırılmasında geniş ölçüde flotasyon teknolojisinden yararlanılmaktadır. Cevher açığa çıkarma işlemlerinde ise 100' ün üzerinde mineralin flotasyon yöntemi kullanılarak zenginleştirilmesi yapılmaktadır. Bunlardan bazıları nikel, gümüş, manganez, bakır, çinko, kromit, kobalt, tungsten, silvin, fluorit, kükürttür (Hacıfazlıoğlu, 2007).

Flotasyon verimine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin içerisinde en önemli olan faktörlerden biri kolon (hücre) içine çeşitli metotlar kullanarak çekilen havanın miktarıdır

Doğal olarak ortaya çıkan birçok kimyasal tepkime ve biyolojik faaliyetlerde oksijen kullanılır. Bu sebeple, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu düşer.(Baylar, 2002)

1.2. Çalışmanın Amaç Ve Kapsamı

Flotasyon işleminde amaç; besleme yoluyla verilen ince mineral taneciklerinden, istenilen niteliklere sahip olan tanelerin flotasyon kolonu (hücre) içerisinde yükselen hava kabarcıkları ile çarpışıp konsantre edilmek istenen minerallerin bu kabarcıklara

yapışarak hücre yüzeyine taşınmasını sağlamaktır. Böylece yüzeyde oluşan köpük tabakasına gelen mineral taneleri sıyrılarak hücreden ayrılırken, kabarcıklara yapışmayan diğer mineral taneleri ise hücreyi alttan terk ederek bir ayırım sağlanır. İşte burada çeşitli sebeplerle azalan cevher değerinden optimum düzeylerde konsantrasyon elde edilebilmesi için fiziksel olarak havanın atmosferden alınarak suya kazandırılması ve bu hidrodinamik sistemin en uygun şekilde dizayn edilmesi gerekir. Hava kabarcığı transferinin hızlandırılması için, çok miktarda havanın su içerisine girmesi gerekmekte ve oluşturulacak bu hava kabarcıklarının en optimum düzeydeki değeri araştırılmalıdır. Bu havanın su ile karışmasından sonra kabarcık tane buluşması gerçekleşecek ve yüzdürme yoluyla zenginleştirme işlemi tamamlanmış olacaktır.

Klasik flotasyon hücrelerinde havanın sisteme verilmesi için hava kompresörleri kullanılmaktadır. Bu işlem için kullanılan kompresörlerin harcadığı enerjiye karşın sağladığı havalandırma performansı işletme açısından önemli bir parametredir. Bizim tasarladığımız sistemde ise hücreye verilecek hava, daha az enerji harcayan ve yüksek havalandırma performansına sahip basınçlı kondüitler yardımıyla flotasyon hücresine verilecektir. Bu yeni sistemin flotasyon veriminin artırılması açısından büyük önem arz edeceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada havalandırma işleminin basınçlı kondüitler ile yapıp flotasyon kolonundaki (hücresindeki) suya yüksek miktarda hava kabarcığı kazandırılması hedeflenmekte ayrıca bu havalandırma ile flotasyon hücresindeki verimin bağlı olduğu parametrelerden olan hava alma holü(bacası) fiziksel özelliklerinin en optimum değerlerine ulaşılması amaçlanmaktadır. Yüksek basınçlı kapaklı kondüit ve flotasyon hücresi ile birlikte çalışır vaziyette oluşturacağımız bu sette atmosferden çekilen havanın flotasyon verimine etki eden parametrelerinin kondüit hava alma holünün(bacasının) uzunluğu HL, hava alma holünün çapı d, kondüit açıklık oranı K ve farklı debilerin Q en optimum boyutlarının belirlenmesine çalışılacaktır.

1.3. Flotasyonun Tarihçesi

Flotasyon, günümüz endüstrisinde mineral işleme işleminde en yaygın kullanılan ayırma işlemidir. Flotasyon teknolojisinin küresel ekonomideki yeri önemlidir. Yüzdürme ile işleme tabi tutulan ezilmiş cevher miktarı kabaca yaklaşık olarak yılda dokuz milyar ton, ve bu yöntem kullanılarak işlenmiş ana metallerin oranı %95'dir. (Brewis, 1996).

Yüzdürme fikri 1860 yılına dayanır ki o tarihte William Haynes ince sülfür cevherinin petrol ile topaklaştırılabileceğini ve yıkama ile değersiz gang mineralinden

ayrılabilirliğini ileri sürmüştür. (Fuerstenau vd., 2007). Haynes'in fikrinin o tarihte bilinen ticari bir uygulaması olmamasına rağmen, başlangıçta dökme-yağ yüzdürme olarak adlandırılan işlem flotasyon alanında ki ilk patent olarak düşünülür. İlk ticari flotasyon işlemi; 1860'ların sonunda Adolf Bessell tarafından Almanya'nın Dresden kentindeki fabrikasında tasarlanmış ve başarıyla test edilmiştir. (Lynch vd., 2010).

Hava flotasyonu, cevher zenginleştirmesinde uzun yıllar kullanılmaktadır. İlk uygulaması atıksu arıtım sahasında askıda katıların, liflerin ve diğer düşük yoğunluklu katıların flotasyonunda gerçekleşmiştir.(Wang vd., 2005 ; Wang, 2006)

Günümüzde flotasyon, hemen hemen tüm sülfür ve birçok sülfür içermeyen metalik mineraller, endüstriyel mineraller ve kömür ve bitüm gibi enerji mineralleri ayırmada kullanılır. Ağırlıklı olarak mineral işleme sanayinde kullanılan flotasyon işlemi, atık su arıtımı ve kağıt geri dönüşümü gibi diğer endüstriyel alanlarda da kullanılmıştır. Ayrıca günlük atıklardan ve bira endüstrisinden organik kirleticilerin uzaklaştırılması için ve kirlenmiş toprağın iyileştirilmesi içinde kullanılmıştır. (Brewis, 1991).

2. FLOTASYON

2.1. Hava Flotasyonunun Teorisi

Yüzdürme işlemi dört temel adımdan oluşur.(Shammas vd., 2010 ; Wang ,1985):

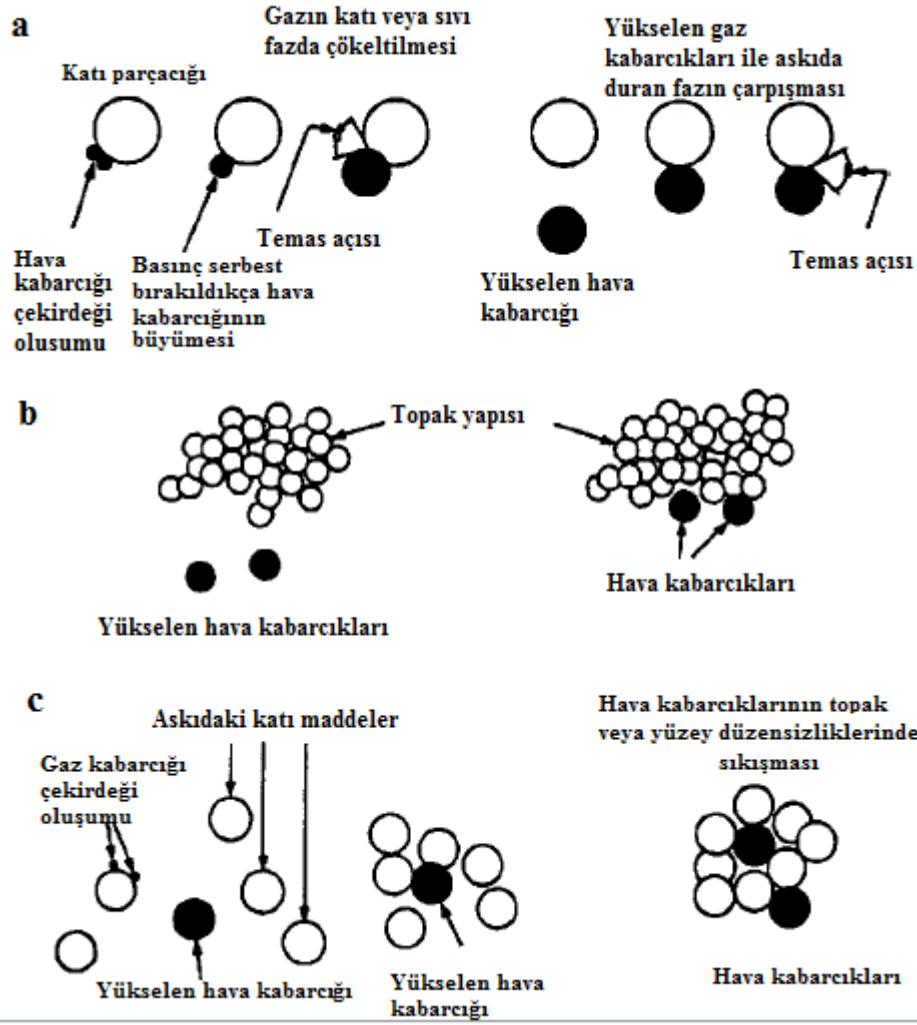
1. Atıksudaki kabarcık oluşumu
2. Gaz kabarcığı ile suya asılmış partikül veya yağ damlacıkları arasındaki temas
3. Parçacık veya yağ damlacıklarının gaz kabarcığa tutturulması
4. Yüzeye hava/katı kombinasyonunun yükselmesi sonucu burada yüzen malzeme atılır.

Parçacıkların flotasyonla ayrılması çökeltme ile aynı yasalara ancak bir "Geri kuvvet alanı" olarak benzerdir. Hava gravitesinde olduğu gibi, hava flotasyon ayırımındaki ana denklem işlemler kabarcık floklarının yükselme oranı, aglomeratlar ve kabarcık-y yağ agregasyonu hesaplamak için kullanılan Stoke Kanunu'dur. (Wang vd., 2005; Krofta ve Wang , 2000):

$$v_t = \frac{\rho D^2 (\rho_a - \rho_0)}{18\phi} \quad (1)$$

Burada v_t aglomeratın yükselme hızı, cm/s; G yerçekimi sabiti, 980 cm/s^2 ; D aglomeratın etkin çapı, cm; ρ_a aglomeratın yoğunluğudur, g/cm^3 ; ρ_0 sulu faz yoğunluğudur, g/cm^3 ve ϕ sulu fazın viskozitesidir

Kabarcık veya katı yağ aglomeralarının yükselme oranındaki artışın anahtarı, yükselişte partikülün (veya katının) etkin yoğunluğunda bir azalma olduğu yani bir hava kabarcığının floklara (topak) veya katı parçacıkların üzerine yada içine kapsüllenmesi veya eklenmesi ile gerçekleştirilir. (Şekil 2. 1).



Şekil 2.1. Çözünmüş hava flotasyonunda kabarcık/damlacık oluşum ve yapışma mekanizmaları (Krofta ve Wang, 2000)

Flotasyon işlemi aşağıdaki adımları takip eder (Krafta ve Wang, 2000):

1. Atık suya gaz kabarcıklarının girişi
2. Gaz kabarcığı ve asılı madde arasındaki çarpışma
3. Asılı maddenin yüzeyine ince kabarcıkların bağlanması
4. Gaza bağlı asılı parçacıklar ile aglomera oluşumu arasındaki çarpışma
5. Aglomeralarda daha fazla gaz kabarcıklarının hapsedilmesi
6. "Süpürme flokülasyonu" olarak adlandırılan süpürme eyleminde flok yapıların yukarı doğru yükselmesi

Kaldırma verimliliğini kontrol eden sistemdeki kilit tasarım değişkenleri şunlardır (Wang vd., 2005; Shammass vd., 2010; Krafta ve Wang 2000; Sansalone Voon ve Sirinivasan, 2001):

1. Sıvının birim hacmi başına giren gaz giriş oranı ve gaz hacmi
2. Kabarcık boyut dağılımı ve dağılım derecesi
3. Süspansiyon halindeki maddenin yüzey özellikleri
4. Flotasyon haznesinin hidrolik tasarımı
5. Çözünmüş materyallerin konsantrasyonu ve türü
6. Süspansiyon halindeki madde ve yağların konsantrasyonu ve türü
7. Kimyasallar eklentiler
8. Yeniden işleme oranı
9. Kalış süresi
10. Sıcaklık
11. Ph

Bununla birlikte, parametreler ve hız kontrol mekanizmaları hakkında hala bilinmeyen birçok şey vardır.(Volesky ve Agathos, 1974)

2.1.1. Kabarcık Boyutu

Hava flotasyon sistemlerinde en önemli bağımlı değişken baloncuk boyutudur. Belirli bir su hacminde oluşan hava kabarcıklarının sayısı ve boyutları hem atık suyun fiziksel sistemi hem de kimyasal içeriği bağıntılıdır. İkinci olarak yüzey gerilimi ve çözünmüş katı konsantrasyonu son derece önemli parametrelerdir. Hava, çözültiden, nispeten dar bir boyuttaki 30 ile 120 mm aralıktan Stoke yasasına uygun yüksek bir hızla küçük kabarcıklar akışı halinde salınır. (Gardner, 1972)

Kabarcıkların yalnızca partiküllere ve damlacıklara yapıştığı ölçüde flotasyon olayı gerçekleşir. Bu durum genelde kabarcık çaplarının süspansiyon içindeki malzeme veya flok çaplarından daha düşük olduğu anlamına gelir.(Shammas ve Bennett, 2010)

Genel olarak, flotasyon sistemindeki kabarcık boyutu (veya kabarcık boyutu dağılımı)

Aşağıdaki üç hidrodinamik işlemle belirlenir:

- Gaz jeneratöründe kabarcık oluşumu,
- Kabarcık ayrılması
- Kabarcık birleşmesi.

Son iki süreç doğrudan türbülansla meydana gelmektedir. Flotasyon sisteminde gaz kabarcıklarının rolünü daha iyi anlamak için yukarıda bahsedilen olguların bilgisi gereklidir (Miskovic, 2011)

2.1.2. Kabarcığın Oluşumu ve Gözlemlenmesi

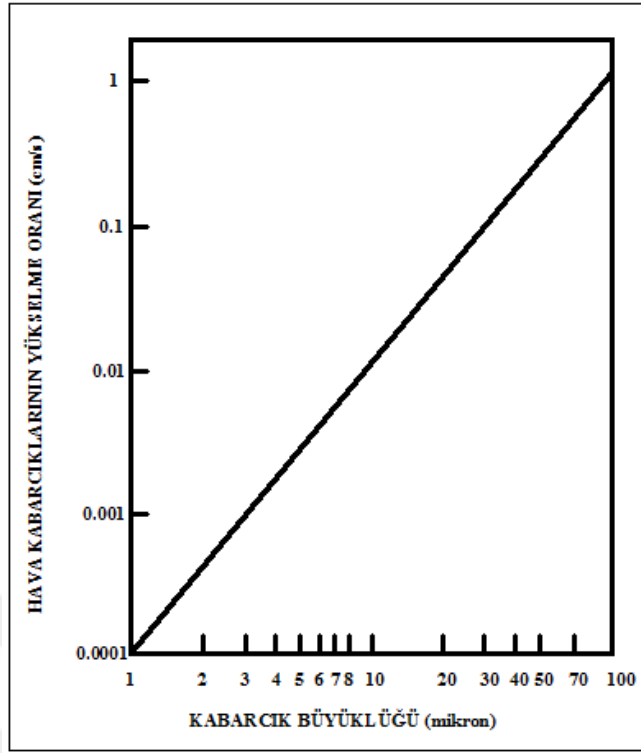
Kabarcık oluşumu sürecinde, sisteme sağlanan toplam enerjinin bir kısmı doğrudan yeni oluşan kabarcıkların serbest yüzey enerjisine dönüştürülür. Flotasyon sistemlerinde oluşturulan kabarcıkların çoğunluğu, pervane ve statör bıçakları arasındaki bölgede üretilir. Bu, hücrenin maksimum enerji dağılım bölgesidir Burada, başlangıçta çark bıçaklarının düşük basınç bölgesinde oluşturulmuş hava boşlukları, çarkların bıçakları kenarlarından ayrılır ve kabarcığın parçalanmasının gerçekleştiği yüksek enerji dağılım bölgesi içine taşınır. Kabarcık parçalanması, kesme akışı ve türbülansın neden olduğu kabarcık yüzeyindeki dinamik basınç ve kayma gerilmelerinden kaynaklanır (Hinze, 1955).

Flotasyon işleminde oluşturulan kabarcıkların miktarı ve ebatları çeşitli teknikler kullanılarak gözlemlenmektedir. Bunlardan bazıları şunlardır (Miskovic, 2011) :

- Elektroresistivite teknikleri
- Ultrason tekniği
- Optik teknikler
- Görüntüleme teknikleri
- Kayma akısı analizi

2.1.3. Hava Kabarcıklarının Yükseliş Oranı

Havayolu flotasyon sistemlerinde, flotasyon haznesine normalde büyük hacimlerde su muamele eder. Bu nedenle hava flotasyon haznesinde suyun kalma süresi çok önemli bir işlem değişkeni haline gelir. İşlenme süresi, öncelikle hava kabarcıklarının yükselme oranına bağlıdır. Sıvı yükseliş oranı, Stoke Kanunu (flotasyonda kabarcık hareketini yöneten denklem) kullanılarak hesaplanabilir. Hesaplanan sonuçlar Şekil 2.2 ve Tablo 2.1 de gösterilmiştir. (Shammas ve Bennett, 2010)



Şekil 2.2. Musluk suyundaki kabarcıkların yükselme oranı.(Shamma ve Bennett, 2010)

Tablo 2.1. Büyüklüğün bir fonksiyonu olarak kabarcıklanma hızı (Shamma ve Bennett, 2010)

Kabarcık çapı mm	Yukarı doğru dikey yükselme oranı	
	cm/sn	Ft/dak
0,2	1	2
1	15	30
10	25	50
50	55	110

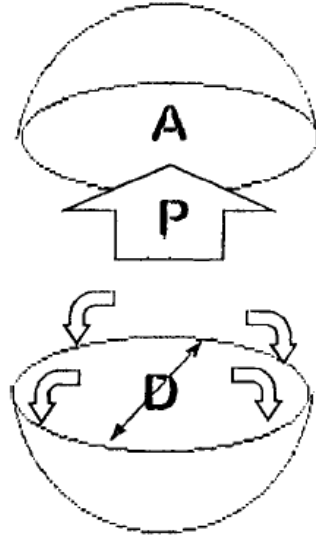
2.1.4. Hava-katı oranı

Katı-parçacık DAF sistemlerinde kabarcıkların yükselme hızını belirleyen bir parametre atık su katılarının birim kütlesi başına hava-çökelti kütlesi olarak tanımlanan hava-katı oranıdır. Hava flotasyon sisteminde optimum hava miktarından daha azı kullanılırsa, Katıların (veya yağın) uzaklaştırılmasının verimliliği azalır. Çok fazla hava kullanılırsa, fazla hava sıkışacağından enerji boşa gider. Hava flotasyon sistemlerini tasarlanırken buna dikkat edilmelidir.(Shamma ve Bennett, 2010)

2.1.5. Gazın Aktarımı, Çözülmesi ve Flotasyon

Bir gaz, bir sıvının yüzeyi ile temas ettiğinde, çözeltiye gidecek olan gaz miktarı, o gazın kısmi basıncı ile orantılıdır. Henry yasası için basit bir tanım gerekirse, bir gazın kısmi basıncı normalden iki kat daha yüksekse, daha sonra belirli bir zaman aralığında ortalama iki kat daha fazla molekül sıvı yüzeyine çarpacak ve çözelti haline geçecektir. Bir gaz karışımı için, Henry kanunları çözeltiye gidecek olan gazların miktarını tahmin etmede yardımcı olur. Bununla birlikte, farklı gazların farklı çözünürlükleri vardır ve bu da hızı etkiler. Henry'nin yasalarındaki orantısallık sabiti burada dikkate alınmalıdır.(LK. Wang ve MHS. Wang, 1995; Nave, 2010)

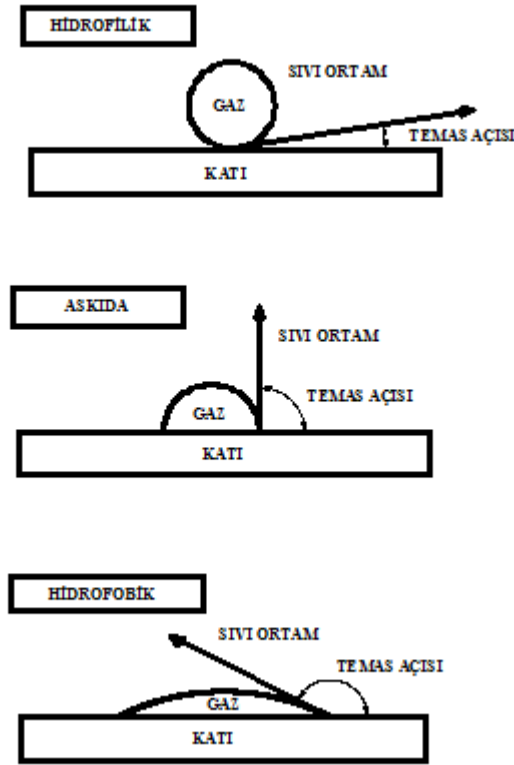
Hava üzerindeki suyun iç kuvveti havayı tutan kuvvetle dengelenir. Ve bu şekil 2.3'de gösterildiği gibi, bu yüzey geriliminden kaynaklanmaktadır



Şekil 2.3. Bir gaz kabarcığı içindeki basınç.(Krofta ve Wang, 2000)

2.1.6. Kabarcığın Bağlanması, Yükselmesi ve Flotasyon

Şekil 2-4 bir flotasyon sistemindeki katıların gaz kabarcığı üzerine nasıl eklenebileceğini göstermektedir. Adsorptif kabarcık ayırma işlemleri (yüzdürme de dahil olmak üzere), esasen katı parçacık yüzeylerindeki ıslanabilirlik farklılıklarından yararlanan ince katıların ayrılması için kullanılan yöntemlerdir. Katı yüzeyler genellikle suyla ıslanabilir ve hidrofilik olarak adlandırılır. Islanmayan bir yüzey suyu iter ve hidrofobik olarak adlandırılır. Bir yüzey hidrofobik ise, genellikle aerofilik olarak adlandırılan havayı çeker ve şekil 5'de gösterildiği gibi su katı yüzeyinde kolaylıkla yer değiştirebilen bir hava ara yüzüne kuvvetle çeker.(Wang vd; 2010)



Şekil 2.4 Gaz kabarcıkları üzerine katıların tutturulması.(Wang vd; 2010)

2.2. Çözünmüş Hava Flotasyonu

Çözünmüş hava flotasyonu işleminde, atmosfere göre daha yüksek basınçlarda havaya maruz bırakılan atıksuyun üzerindeki basıncı düşürerek çok ince gaz kabarcıkları oluşur.

Flotasyon havuzuna basınç verildiğinde, küçük kabarcıklar aşırı doymamış çözeltideki yağ ve katı parçacıklar tarafından tutunarak yüzeye yükselirler.

Çözünmüş hava flotasyonu aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır(Wang ve Mahoney 1994; Cheremisinoff 1993)

1. Basınçlı pompalar
2. Hava enjeksiyon sistemi
3. Doyurma tankı
4. Yük (basınç) regülatörü (basınç tahliye valfi olarak da bilinir)
5. Flotasyon tankı
6. Kimyasal ekleme sistemi

2.3. Jet (Nozzle) Hava Flotasyonu

Jet flotasyonunun çalışma prensibi, iki fazlı hava/su karışımını flotasyon kabına serbest bırakmadan önce, geri dönüştürülmek istenen atığın içine hava püskürtülmesine dayanmaktadır.(Degner ve Colbert,1978)

Enjeksiyon cihazı geri kazanımlı arıtılmış atık suya hava çekmek için bir gaz emme nozulus kullanır. Daha fazla işleme etkinliği için çoklu hücreler kombine edilebilir. Flotasyon hücresinde kalış süresi yaklaşık 1 dakikadır. Bu sistemin benzersiz bir özelliği, sıvı seviyesi ile gaz geçirmez kapak arasında bir gaz battaniyesini muhafaza eden bir arka basınç kullanılmasıdır. Bu kapak, herhangi bir atık gazın toplanmasına ve gerekirse arıtılmasına izin verir. (Degner ve Colbert,1980)

2.4. Flotasyon Yöntemi Üzerine Yapılmış Literatür Çalışmaları

- Yianatos vd., (2016) çalışmalarında;

Sanayiye dönük flotasyon işlemlerinde flote edilmek istenen maddenin yüzdürme özellikleri ile ilgili yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemin yaklaşımında mineralin geri kazanımının, flotasyon hücresindeki kabarcık akışının hızı ve seviyesi ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

- Bennett (2006) çalışmasında;

Atık su arıtma işlemlerindeki gelişmeleri incelemiştir. Atık suların geri dönüşüm kalitesini arttırmak için arıtma tesislerinin kapasitesinin artırılması gerektiğini ifade etmiştir.

- Zhang (2014) çalışmasında;

Kabarcıkların boyutlarını belirlemek maksadıyla görüntüleme teknolojisi kullanmıştır. Flotasyon işleminde kullanılan suyun sıcaklığının kabarcık boyutuna etki ettiği sonucuna varmıştır.

- Filho vd., (2016) çalışmalarında;

Metalürji, madencilik, kimya ve petrokimya gibi birçok sanayi dalında atık sulardan sülfat iyonlarının uzaklaştırılması ihtiyacının doğduğunu ifade etmişlerdir. Mevcut durumdaki yöntemlerin birçoğunun verimsiz ve pahalı olduğunu belirtmişlerdir

- Li vd., (2016) çalışmalarında;

Yağ konsantrasyonunu ayırma verimliliğini arttırmak için yeni bir mikro kabarcık kolon flotasyonu geliştirmişlerdir. Besleme debisi, başlangıç yağ konsantrasyonu,

havalandırma hızı ve sıvı haldeki yağın damlacık boyutunu incelemişlerdir. Mikro kabarcık kolon flotasyonunun özellikle ince yağ damlacıklarının ayrılması için avantajlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

- Roberts vd., (1978), çalışmalarında;

Askıdaki katı madde konsantrasyonu için DAF sistemlerinin performansının hidrolik yüklemelere, katı yüklemelere ve mevcut hava miktarına dayanan parametrelere dayanan geleneksel tasarıma göre daha etkili olamayabileceğini belirtmişlerdir.

- Katz(1960) çalışmasında yüzey gerilimi azaldıkça, flotasyon işleminde daha fazla sayıda küçük boyutlu kabarcığın oluştuğunu bildirmiştir.
- Shannon ve Buisson (1980) DAF sistemi ile yaptıkları deney çalışmalarında yüksek sıcaklıklarda (50 ve 80°C), kabarcık boyutunda basınç ile önemli değişiklik olduğunu bulmuşlardır. Ortalama kabarcık boyutunu 30.5 psi'de 66 mm ve 40 psi'de 42 mm olarak elde etmişlerdir.
- Ramirez (1979) çalışmasında kabarcıkların bulunduğu sistemlerde kabarcık boyut dağılımını elektroliz yöntemi, dağılık hava yöntemi ve son olarak DAF yöntemi ile ölçmüştür.
- Travers ve Lovett (1985) çalışmalarında hem CO₂ hem de hava ile doymuş DAF sistemlerinde kabarcık boyutlarını 30 psi basınç altında ölçmüşlerdir. Kabarcık boyutları, CO₂ kullanımına kıyasla beş kat daha büyük ve çok daha hızlı yükseldiğini, bunun sonucunda yüzdürme haznesinde çalkantılı koşullar oluştuğunu gözlemlemişlerdir.
- Katz ve Geinopolos (1967) çalışmalarında, çamurun hava kabarcığı ile yüzdürme işleminde hava miktarı yaklaşık üç kat arttıkça 0,3 ft/dak ile 1.8 ft/dk arasında değişen yükselme oranları elde etmişlerdir.
- Eckenfelder ve O'Connor (2013) çalışmalarında atıksuyun içindeki çözünmüş suyun dört kat artmasıyla, evsel atıksu için 0,17 ila 0,42 ft/dk arasında değişen dikey yükselme oranları elde etmişlerdir.
- Shammass ve DeWitt (1992), çalışmalarında modern yüksek oranlı DAF temizleyicilerinin, su ve atıksu arıtımı için klasik çöktürücülerini gölgeleyebilecek kadar gelişmiş olduğunu bildirmişlerdir.
- Eckenfelder (1980) ve Krofta ve Wang (2000) çalışmalarında, hava flotasyon sistemlerini tasarlarken en önemli parametrenin hava/katı oranı olduğunu belirtmişlerdir.

- Miskoviç vd., (2011) çalışmalarında iki ticari mekanik flotasyon hücresinin (basıncılı havalandırılmalı ve kendinden havalandırılmalı) gaz dağılım performansını incelemek için kapsamlı bir pilot ve endüstriyel ölçekli deneysel araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında mekanik bir flotasyon hücresindeki çalışma koşulları ve oluşturulan akış koşullarının hücre boyunca gaz fazının dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, flotasyon hücreleri optimal koşullar altında çalıştırıldığında, hücrenin içine giren toplam gazın en büyük etkisinin küçük kabarcıklar halinde bulunduğu, Elde edilen bulgulardan, bir flotasyon sistemindeki kabarcık çapının tek bir olay tarafından belirlenemeyeceği, genellikle kabarcık parçalanmasının yüksek enerji dağılım oranlarına bağlı olarak belirleyici bir faktör olduğunu ancak dikkate alınması gereken birkaç mekanizma bulunduğu sonuçlarına ulaşmışlardır.
- Miskoviç vd., (2011) bir başka çalışmalarında endüstriyel flotasyon devrelerinin mühendislik tasarımı, ölçeklendirilmesi ve optimizasyonu ile daha kolay kullanılabilen performans verilerini sunma amacıyla tam donanımlı bir (0.8 m³) pilot ölçekli flotasyon devresi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında pilot ölçekli sistem kullanılarak elde edilen verilerin, flotasyon süreçlerinin ileri modellenmesi, kontrolü ve optimizasyonu için bir taban çizgisi olarak kullanılabileceği ve sistemin işlevsel çok yönlülüğü sayesinde hemen hemen her işlem koşuluna kolayca adapte edilebilir olduğunu ifade etmişlerdir. Ve bu yolla başarılı ölçek büyütme stratejilerinin geliştirilmesi ve daha etkin flotasyon hücreleri için gerekli olan süreçle ilgili bilgi sağlanabileceği sonucuna varmışlardır.
- Miskoviç ve Luttrell (2011) pilot ölçekli (0.8 m³) flotasyon hücresindeki bölgesel kabarcık boyut dağılımlarını araştırmak için aynı anda mevcut yerinde ve dışında kabarcık örnekleme yöntemleri kullanılmışlardır. Ek olarak, yakalanan görüntüleri analiz etmek ve her görüntü seti için kabarcık boyutu dağılımları elde etmek için iki tür görüntü analiz yazılımı kullanmışlardır. Tüm deneyleri iki fazlı sistemde gerçekleştirmişlerdir. Flotasyon hücresini toplu bir reaktör olarak çalıştırmışlardır. Deneysel veriler, kabarcık boyutlarındaki önemli farklılıkların hücre boyunca ve farklı koşullar altında meydana geldiğini göstermiştir.

- Maiken (1995) ve Editor (2010) gaz kabarcık oluşumu, boyut dağılımı, emilim/adsorpsiyon, katı tutturma, ayrılma, yüzey kimyası, yükselme hızı teorilerini araştırmışlardır.
- Aytaç (2017) çalışmasında flotasyon hücresinin çap ve boyunun havalandırma performansına etki ettiği, hücre boyunun artması sonucu havalandırma performansının azaldığını, basınçlı konduit kullanarak oluşturduğu hava kabarcıklarının (havalandırmanın), su jetinin(konduit) flotasyon hücresine 60 derecelik açıyla bağlandığı alternatifde optimum olduğunu tespit etmiştir.
- Canpolat (2017) çalışmasında basınçlı konduit vasıtasıyla oluşturulan hava kabarcıklarının (havalandırma performansının) su jetinin (konduit) flotasyon hücresine 60 derecelik açıyla saplandığı durumda optimum olduğunu ifade etmiştir.

3. HAVALANDIRMA

Hidrolik yapılar, akışın hacmine ince hava kabarcığı taşındığında türbülanslı koşullar yaratarak havalandırma verimliliğini artırabilir. Bu bölümde suların havalandırma süreçlerinde kullanılan hidrolik yapıların, havalandırma verimleri üzerinde durularak incelenmiştir. Hidrolik yapılar, basınçlı akım sistemleri ve serbest yüzeyli akım sistemleri olarak iki grupta incelenmiştir (Baylar vd., 2010)

Doğal olarak meydana gelen birçok kimyasal ve biyolojik tepkimelerde oksijenden faydalanılır. Bu sebeple suda çözünmüş oksijen miktarı azalır. Azalan bu oksijen miktarını limit seviyelere yükseltmek amacıyla atmosferdeki mevcut oksijenin suya tekrardan kazandırılması gerekir. Uygulanan bu işleme havalandırma denir. Havalandırma ile gazların suya enjekte edilmesi veya bu gazların sulardan uzaklaştırılması mümkün olmaktadır. (Eroğlu, 1991)

Suların havalandırılması çeşitli nedenlerle yapılmaktadır;

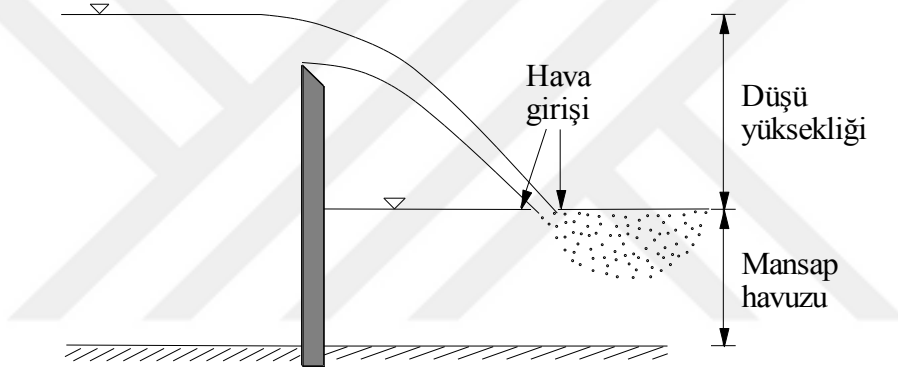
- Metan gazının sudan arıtımı: Bir anaerobik ayrışma ürünü olan metan gazını sudan uzaklaştırmak amacıyla yapılır.
- Kimyasal madde ve uçucu yağların giderimi: Canlı yaşamını olumsuz etkileyen, bununla birlikte suda kötü koku, tat ve renk oluşumuna sebep olan maddelerin uzaklaştırılması amacıyla yapılır.
- Hidrojen sülfürün giderimi: Suda oluşan kötü koku ve tadın giderilmesi, metallerin maruz kaldığı korozyon etkisinin azaltılması ve çimentonun ayrışmasının önlenmesi maksadıyla yapılır.
- Suyu karbondioksit eklemek veya sudan karbondioksit uzaklaştırmak: Sudaki karbondioksit dengesinin sağlanması amacıyla suya karbondioksit kazandırmak veya sudan karbondioksitin giderilmesi gereklidir. Yöntemden bu amaçla faydalanılır.
- Suyu Oksijen kazandırmak: Demir (Fe^{++}) veya Manganın (Mn^{++}) oksidasyonu veya Amonyumun (NH_4^+) giderilmesi, biyolojik tasfiye, göl veya nehirlerde çözünmüş oksijen miktarının artırılması amacıyla faydalanılır. (Eroğlu, 1991)

3.1. Serbest Yüzeyli Akım Sistemleri

Bir akımın serbest yüzeyli olarak adlandırılması için akımı kısıtlayan yüzeylerden birine sabit bir basınç etkimesi gerekir. Bu basınç türü çoğunlukla açık hava basıncıdır. Kapalı yataklarda tam dolu akmayan, nehir ve kanal akımları yani sıvının üst yüzeyine yalnızca açık hava basıncının etki ettiği akımlar serbest yüzeyli akım sistemleri olarak adlandırılır. Bu kısımda basamaklı kaskatlar, savaklar ve konduitler gibi serbest yüzeyli akım sistemlerinin havalandırma performansları incelenmiştir.(Baylar vd., 2007)

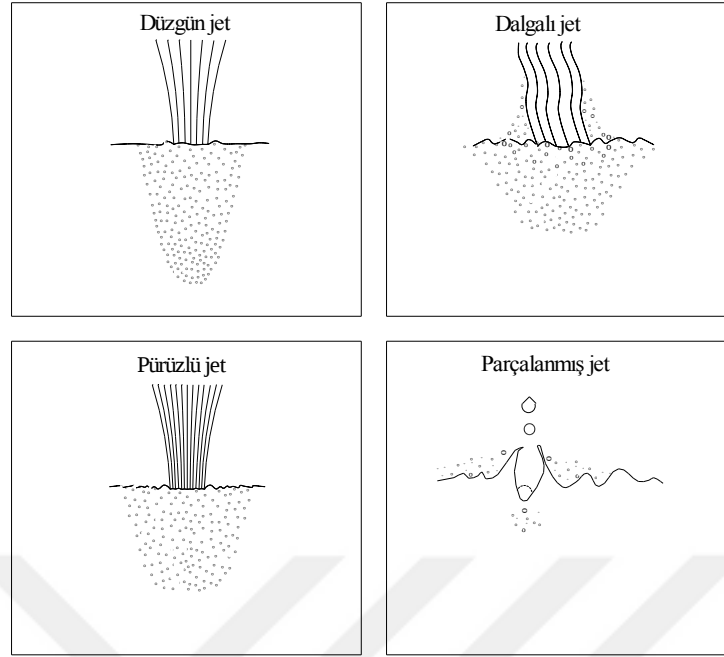
3.2. Savaklar

Savaklarda hava girişi suyun savak üzerinden mansaba doğru akarken atmosferdeki havanın suyla karışması neticesinde gerçekleşir. (Şekil 3. 1)



Şekil 3.1. Savak akımı (Baylar vd., 2007)

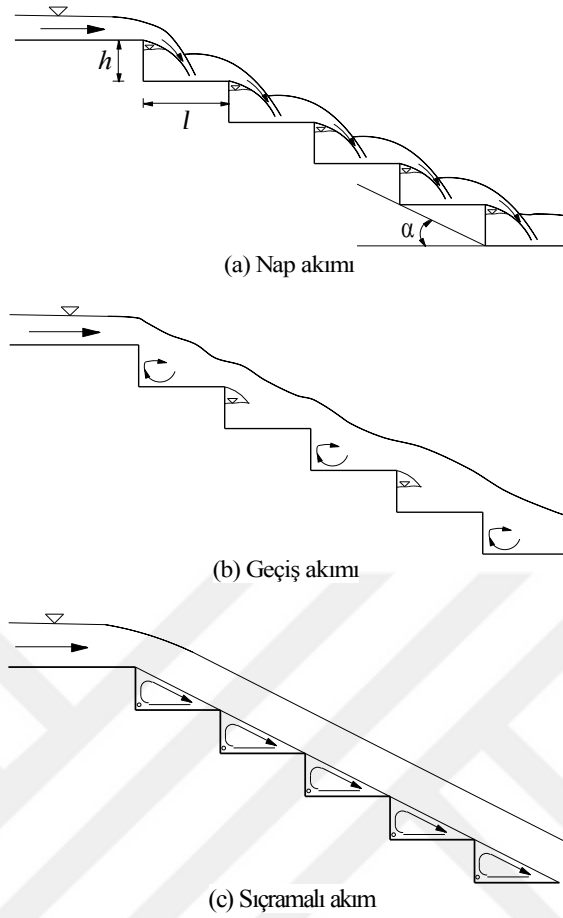
Hava mansap havuzuna kabarcıklar halinde girerken, kütle transferi için gereken yüzey alanını arttırarak oksijen transferinin gerçekleşmesini sağlar. Savaklardaki oksijen transferinin verimi şekil 3.2 de görülen hava giriş durumlarına göre değişmektedir.(Baylar vd., 2007)



Şekil 3.2. Savaklarda hava giriş mekanizmaları (Baylar vd., 2007)

3.2.1. Basamaklı Kaskatlar

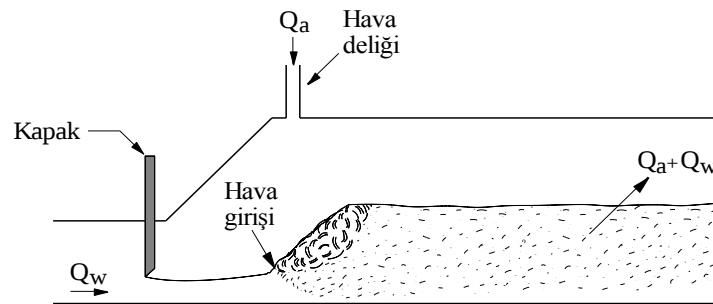
Basamaklı kaskatlarda su membadan mansaba akarken her basamakta meydana gelen türbülans sebebiyle suya hava girişi sağlanır. Basamaklı kaskatların üzerinden akan akımın tipine göre hava giriş miktarı değişmektedir. Şekil 3.3’de görüldüğü üzere basamaklı kaskatların üzerinden nap, geçiş ve sıçramalı olarak adlandırılan 3 tür akım geçmektedir. Bunun neticesinde de her akım türünde gerçekleşen oksijen transfer verimi farklılık göstermektedir. (Baylar vd., 2007)



Şekil 3.3. Basamaklı kaskatlarda akım tipleri (a) nap akımı; (b) geçiş akımı; (c) sıçramalı akım (Baylar vd., 2007)

3.2.3. Serbest yüzeyli kondütler

Kapaklı kondütlerde, kapağın kısmi olarak açılmasıyla oluşan yüksek hızdan dolayı, kapak mansabındaki hava deliğinde açık hava basıncından daha düşük bir basınç meydana gelir. (Şekil 3.4) Oluşan bu düşük basınç etkisiyle hava deliğinden hava vakumlanır. Bu vakumlanan hava kondüt içerisinde iki fazlı akımın oluşmasına neden olur. Bu iki fazlı akım sebebiyle hızlandırılmış bir oksijen transferi sağlanmış olur. (Baylar vd., 2007)



Şekil 3.4. Serbest yüzeyli kondütte iki fazlı akım (Baylar vd., 2007)

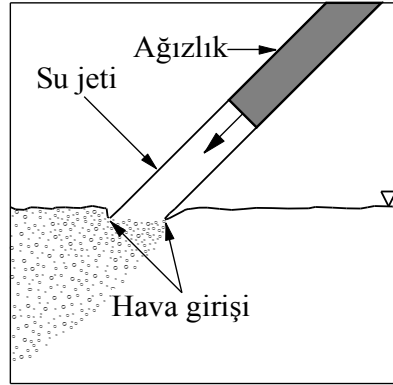
3.3. Basınçlı Akım Sistemleri

Su iletimi sağlayan bir hidrolik yapının içinden geçen akımın atmosferle teması olmadan tamamen dolu olarak akmasına basınçlı akım denir. Kuyu, tünel, galeri, boru vb. yapılarda basınçlı akım oluşabilir. Basınçlı akıma maruz kalan hidrolik yapılar, herhangi bir kısımdan delinirse yapı içindeki su basınçlı olarak dışarı fışkırır. Bu kısımda venturiler, su jetleri ve kondüitler gibi basınçlı akım sistemlerinin havalandırma performansları incelenmiştir. (Baylar vd., 2007)

3.3.1. Su Jetleri

Şekil 3.5 da görüldüğü üzere su jetleri havalandırma ile beraber aynı zamanda karıştırma işlemini de yaparken, temel olarak atmosferdeki serbest oksijeni kullanır. (Ahmed, 1974).

Su jeti bir ağızlıktan çıkan yüksek hızlı bir akışkan akımıdır. Su jeti hava ortamından geçtikten sonra su havuzuna çarparak büyük oranda havayı su hacminin içine aktarır ve iki fazlı (gaz-sıvı) bir bölge meydana getirir. Bu sayede, su havuzu ile havuz içerisine akan hava kabarcıkları arasında oksijen transferi gerçekleşir. Bu konu hakkındaki literatür incelendiğinde, yapılmış olan araştırmaların birçoğunda dairesel ağızlıklarından faydalandığı görülmüştür. (Baylar vd., 2007)



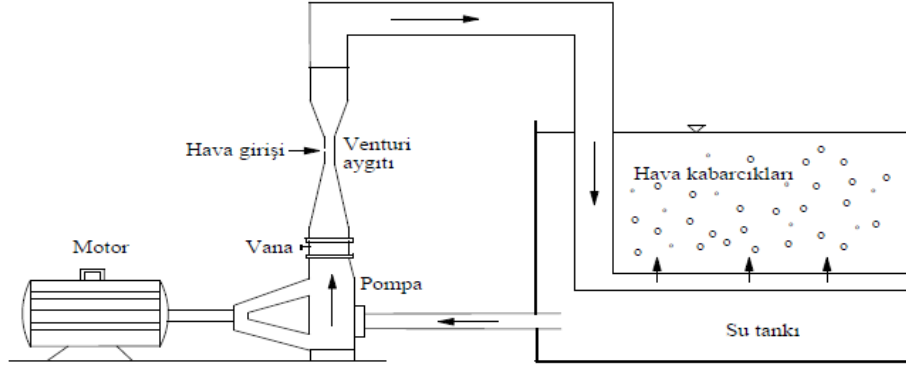
Şekil 3.5. Su Jeti (Ahmed, 1974)

3.3.2. Venturiler

Şekil 3.6. ve şekil 3.7.'de verilen venturi cisminin boğaz kısmında açık hava basıncından daha düşük bir basınç ortaya çıkmakta ve bu basınç azalması sebebiyle boğaz kısmındaki hava boşluğundan hava girişi gerçekleşmektedir. Bu özellikleri neticesinde venturiler; borulu havalandırma sistemlerinde sistemin gereksinim duyduğu hava ihtiyacını karşılamak, su jeti sistemlerinde ise ağızlık olarak kullanılmaktadırlar. (Baylar vd., 2007)



Şekil 3.6. Bir venturi aygıtının görünümü (Özkan, 2005).



Şekil 3.7. Venturi aygıtının havalandırma amaçlı kullanımı (Özkan, 2005).

3.3.3. Basınçlı Konduitler

Yüksek basınçlı tedrici daralan konduitlerde, kapağın farklı oranlarda açılmasıyla meydana gelen hız artışından dolayı, kapak mansabında atmosfer basıncından daha düşük bir basınç meydana gelir. Oluşan bu düşük basınç etkisiyle hava holü(bacası) deliğinden hava vakumlanır. Bu emilen hava konduit içerisinde iki fazlı hava-su akımının oluşmasına neden olur. Bu Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da verilmiştir.

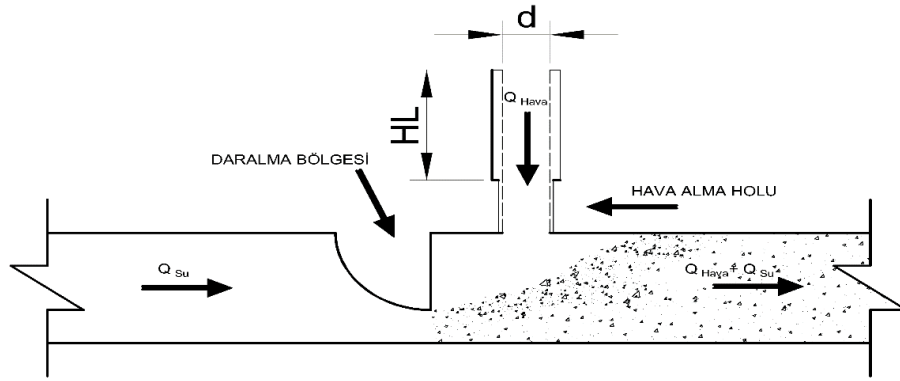
Yukarıda anlatılan olay aşağıdaki iki denklem yardımıyla da izah edilebilir

1. Bernoulli Denklemi

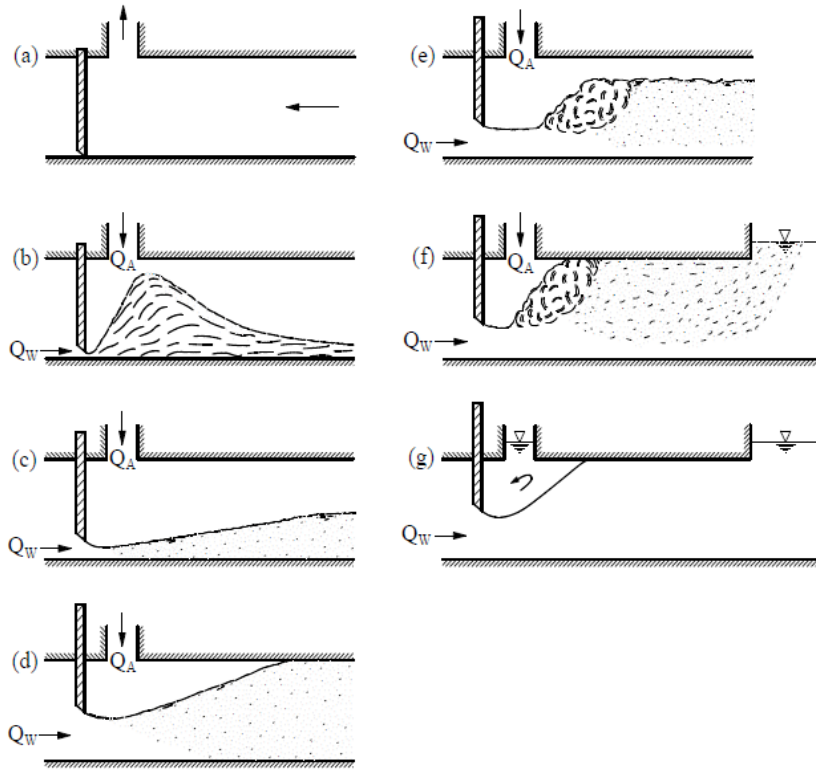
2. Süreklilik Denklemi

Su akımının içerisinde hava alınması:

- Sulu ortamda hava kabarcığı oluşturmak,
- Kabarcık-tanecik çarpışmasını sağlamak,
- Hava kabarcığı transferini hızlandırmak için kullanılır



Şekil 3.8. Tedrici olarak daralan yüksek basınçlı dairesel konduit



Şekil 3.9. Kapaklı konduit içerisinde oluşan iki fazlı akım rejimleri; a) sadece hava akışı, b) sprey (püskürtme şeklinde) akım, c) serbest yüzeyli akım, d) köpüklü akım, e) hidrolik sıçrama 1, f) hidrolik sıçrama 2, g) sadece su akışı (Sharma, 1976).

3.4. Havalandırma yöntemi üzerine yapılmış literatür çalışmaları

- Lysne ve Guttormsen (1971) suyun kesit alanları ile konduit kesit alanı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve prototip verilerine dayanarak aşağıdaki zarf eğrisini geliştirmiştir.

$$1 + \frac{Q_a}{Q_w} = 1,2 \times \left(\frac{1}{\frac{A_c}{A_t}} \right) \quad (2)$$

Burada

A_c : Su prizmasının kesit alanı (m^2)

A_t : Konduitin kesit alanı (m^2)

Q_a : havanın debisi (lt)

Q_w : suyun debisi (lt)

- Oveson (2008) çalışmasında froude sayısının serbest yüzey akışına sahip kapaklı kapalı kanallarda hava talebini tanımlamak için kullanılabileceğini, ancak kanal geometrileri benzer değilse sonuç karşılaştırmaları yapılması gerektiğini ifade etmiştir. Kanal geometrisi sabit kaldığında kapağın yukarı yönde açılma oranının hava talebi ile doğrusal bir ilişki kurduğunu, kapak pürüzlülüğünün artması (tırtıklama) su yüzeyi dalgalanmasını ve buna bağlı olarak hava-talep oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Türbülans ve yüksek su hızından kaynaklanan su yüzeyi pürüzlülüğünün, daha yüksek hava ihtiyacı gerektiren düşük su seviyelerinde meydana gelen dalgalanmayla daha iyi olduğu sonucuna varmıştır. Konduit eğiminin hava ihtiyacının arttırmadığını, aksine özdeş testler için froude sayısını değiştirdiğini, boru uzunluğunun hava girişinde ölçülen hava ihtiyacını önemli ölçüde etkilediğini, ancak uzunluk ile orantılı olmadığı sonucuna varmıştır. Yaptığı çalışmada, daha önceki araştırmacılar tarafından önerildiği üzere, bu deney için hava-su arayüzünde hava hızı dağılımının belirgin olmadığına işaret etmiştir.
- Chanson (1995, 2006), Chanson ve Gualtieri (2007, 2008b), Chanson ve Murzyn (2008a) Açık kanallarda hidrolik sıçramalardaki hava girişi üzerine yaptıkları pek çok çalışmada viskoz ve yüzey gerilimi etkilerinin hava girişini önemli oranda etkilediği sonucuna varmıştır. Açık kanal akışlarındaki hidrolik sıçramalarda hava sürüklenmesinin ölçek etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Çalışmaları,

dinamik olarak benzer olmayan iki sistem arasında ölçek etkilerinin var olabileceğini göstermiştir.

- Mortensen (2009), dairesel kapalı kanallarda(borularda) hidrolik sıçramalardaki havalandırma veriminin aşağıdaki faktörlerden nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirmiştir.
- Boyut ölçek etkileri
- Yer ve farklı uzunlukların etkisi
- Sıcaklık etkisi
- Baylar ve Emiroğlu (2003), Emiroğlu ve Baylar (2003) hidrolik yapılarda hava girişi ve havalandırma performansı üzerine çeşitli çalışmalar yapmışlardır.
- Ahmed (1974), van De Sande ve Smith (1973), McKeogh ve Ervine (1981) ve Sene (1988) su jetiyle hava sürüklenmesine ilişkin deneysel çalışmalar yapmışlardır.
- Kusabiraki vd., (1990) havanın sürüklenme hızında çeşitli uzunluk/çap oranı değerlerine sahip jetlerin etkisini incelemişlerdir.
- Evans vd., (1996) hava aracılığıyla geçen dikey su püskürtmeleri için serbest jet uzunluğunun bir fonksiyonu olarak etkin jet çapındaki değişimi ölçmüşlerdir.
- Oğuz (1998), Zhu vd., (2000) ve Ohl vd., (2000) su jetleri vasıtasıyla kabarcıkların girişi sırasında meydana gelen yüzey çalkantılarının etkisi üzerinde çalışmışlardır.
- Yamagiwa vd., (2001) su jeti vasıtasıyla hava sürüklenmesine yönelik çalışma yapmışlardır.
- Bazı araştırmacılar, savaklardaki çözünmüş oksijenin artışı üzerinde çalışmışlardır. Gameson (1957) nehirlerdeki savakların havalandırma potansiyelini bildiren ilk kişidir .
- Daha sonra, savak havalandırması ile ilgili birçok laboratuvar araştırması gerçekleştirildi. Bilhassa Van der Kroon ve Schram (1969), Apted ve Novak (1973), Avery and Novak (1978), Nakasone (1987), Thene (1988), Lobach vd., (1996). Wormleaton ve Soufiani (1998), Wormleaton ve Tsang (2000) üçgen ve dikdörtgen labirent savakların 20° C 'ki havalandırma verimi üzerinde çalışmışlardır.

- Tebbutt vd., (1977), naplı ve kayan akışlar ile basamaklı kaskatlar için bazı havalandırma verilerini ortaya koymuşlardır.
- Essery vd., (1978) havuz halinde basamaklı kaskatlardaki nap akışını incelemişlerdir.
- Novak (1994), tek bir jet/havuz konfigürasyonu ve havuzlardaki kaskatlar ile Essery vd., (1978) tarafından araştırılan kaskatları karşılaştırmıştır.
- Toombes ve Chanson (2000) ve Chanson ve Toombes (2000) küçük eğimli basamaklı kaskatlarda havalandırma olabileceğini ifade etmişlerdir.
- Chanson ve Toombes ,(2002) basamaklı kaskatlarda gaz-sıvı arayüzeyli ölçümler yaparak havalandırma performansını incelemişlerdir.
- Kalinske ve Robertson (1943), Campbell ve Guyton (1953), Haindl ve Sotornik (1957), Rajaratnam (1962), USACE (1964), Sharma (1976), Stahl ve Hager (1999), Speerli (1999), Speerli ve Hager (2000), Escarameia (2007) çalışmalarında;

Kapaklı kondüitler üzerinde hava giriş oranını araştırmak için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarında hava giriş oranının hidrolik ve geometrik parametrelere göre değiştiğini belirlemişlerdir. Bu yazarlar farklı akım tipleri altında hava giriş oranlarını belirlemek için bazı formüller geliştirmiştir.

- Kalinske ve Robertson (1943) çalışmalarında;

Hava giriş oranının belirlenmesine yönelik bilinen ilk çalışma Kalinske ve Robertson (1943) tarafından yapılmıştır. Tek dairesel boru içinde çeşitli eğimlerde yaptıkları çalışmada (3) nolu denklemi vermişlerdir. Yaptıkları deney sonuçları hava girişinin borunun eğimine değil Froude sayısına bağlı olduğunu göstermiştir.

$$\beta = 0.0066(Fr-1)^{1.4} \quad (3)$$

- Haindl ve Sotornik (1957) çalışmalarında;

Dikdörtgen kesitli bir boru içerisinde laboratuvar çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Onların akım kesiti Kalinske ve Robertson tarafından kullanılan akım kesitinin yaklaşık 3 katından daha büyüktür. Yaptıkları deneylerin sonucunda (4) nolu denklemi belirlemişlerdir.

$$\beta = 0.012(Fr-1)^{1.4} \quad (4)$$

- Rajaratnam (1962) farklı Froude sayıları ve iki akım fazlı koşulları altında yaptığı çalışmada;

Hidrolik sıçrama koşullarında

$$\beta = 0.018(Fr-1)^{1.245} \quad (5)$$

Hidrolik sıçramanın gerçekleşmediği koşullarda

$$\beta = 0.03(Fr-1)^{1.06} \quad (6)$$

denklemlerini belirlemiştir.

- Sharma (1976) konduitlerde yaptığı çalışmada aşağıdaki formülleri vermiştir;

$$\beta = 0.09Fr \quad \text{serbest yüzeyli akım için} \quad (7)$$

$$\beta = 0.2Fr \quad \text{basıncılı akım için} \quad (8)$$

- Campbell ve Guyton (1953) çalışmalarında;

Maksimum hava ihtiyacının kapak açıklığının %80 olması halinde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Ve hava çıkış kapağındaki maksimum hava hızının 45m/sn ile sınırlı olması gerektiğini tavsiye etmişlerdir. Ayrıca aşağıdaki denklemi belirlemiştir.

$$\beta = 0.04(Fr-1)^{1.4} \quad (9)$$

- USACE (1964) çalışmalarında;

Bir dizi testler sonucu elde ettiği verileri başka araştırmacılar tarafından verilen Froude sayısı bazlı tahminlerle karşılaştırmışlardır. Denklem sayısına bağlı ampirik denklemler (8) ve (9) nolu denklemler sırasıyla Sharma (1976) tarafından USACE (1964) ve Winser (1967)'ye atıf olarak vermişlerdir.

$$\frac{Q_a}{Q_w} = 0.3(F_r - 1)^{1.06} \quad (10)$$

$$\frac{Q_a}{Q_w} = 0.24(F_r - 1)^{1.4} \quad (11)$$

- Stahl ve Hager (1999) çalışmalarında;

Dairesel borulardaki hidrolik sıçrama ile ilgili araştırmalarda bulunmuşlardır. Konduitlerin batma limitlerini gözlemlemek ve sıçramanın temel noktalarını deneysel olarak araştırmışlardır.

- Speerli (1999) çalışmasında;

Serbest yüzeyli tünel akımlarında hava girişini incelemiştir. Yaptığı araştırmalar neticesinde kapak üzerindeki enerji yüksekliğinin etkisinin, net tünel genişliği, kapak açıklık oranı ve enerji kayıp katsayısıyla az etkili olup, tünel boyu ile orta derecede etkili olduğunu belirtmiştir. Ayrıca hava ihtiyacının suyun içine hava sürüklenmesinin büyük ölçüde bir fonksiyonu olduğunu bulmuştur. Bu çalışmanın toplam hava ihtiyacının hava giriş deliği ve konduitin çıkış portalı aracılığı ile giren toplam hava olduğunu gösterdiğini ifade etmiştir. Toplam hava ihtiyacının, hava giriş deliği boyutundan bağımsız olduğu ve hava deliğindeki hava kayıplarının arttığı sonucuna varmıştır. Ek olarak hava çıkışını portalı üzerinden temin etmiştir.

- Speerli ve Hager (2000) çalışmalarında;

Speerli ve Hager kapağa olan toplam uzaklıkla ilişkili olarak gerçekleşen hava sürüklenmesi nedeniyle toplam hava konsantrasyonu üzerinde çalışmışlardır. Kapağın aşağısında konduitin hemen ilk kısmında suda, maksimum hava konsantrasyonu miktarının meydana geldiğini bulmuşlardır. Bundan sonra hava sürüklenmesinin olduğu küçük bir nokta üzerinde durmuşlardır. Ek olarak hava ihtiyaç oranının Froude sayısına bağlı olduğu sonucuna varmışlardır. Diğer bazı araştırmacılar ise hava ihtiyacına diğer bazı parametrelerin önemli olduğunu öne sürmüşlerdir.

- Escameia (2007) tarafından dairesel boru içindeki hidrolik sıçramalar içinde ölçülen hava sürüklenmesi oranları ile Kalinske ve Robertson (1943), Wisner ve arkadaşları, Rajaratnam, ve Robben ve arkadaşları tarafından bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında bu karşılaştırma çeşitli uzmanlar arasında hava ihtiyacı konusunda önemli farklılıklar gösterdiğini ifade etmiştir. Ki bu farklılıklar aşağı yönde akış ve çıkış koşullarının yanı sıra konduit geometrisinin farklılığından dolayı da olabileceğini belirtmiştir. Escameia kendi çalışmaları ile diğerlerinin çalışmalarını karşılaştırıldığında hava sürüklenmesini birçok faktörün etkileyebildiğini ve her bir faktörün etkisini tanımlamak için büyük bir özen gösterilmesi gerektiği sonucuna varmıştır.

Burada β akıma giren havanın hacmini, Fr 'nin ise vena kontrakta bölgesindeki Froude sayısını ifade ettiğini belirtmektedir.

- Son zamanlarda (Özkan vd., 2006a, 2006b, 2010, 2014), (Ünsal vd., 2005, 2008, 2009) ve (Tuna vd., 2014) kapaklı kondütlerde havalandırma etkisini araştırmak için çeşitli deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.
- Özkan vd. (2014) maksimum oksijen transfer verimini veren optimum havalandırma verimi üzerine bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu deneysel çalışma sonucu aşağıdaki formülü geliştirmişlerdir;

$$E_{20} = 1 - \tanh\left[\left(\frac{Fr}{9.156}\right)^{-2.410} + 0.205\beta^{-0.217}\right] \quad (12)$$

Burada E_{20} 'nin 20°C 'de ki havalandırma verimini, Fr 'nin Froude sayısını ve β 'nin ise hava giriş oranını ifade ettiğini belirtmektedirler.

- Tuna vd. (2014) yüksek basınçlı kapaklı dairesel kondütlerde havalandırma ve oksijen transfer verimlerini belirleyebilmek için yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu aşağıdaki formülü geliştirmişlerdir;

$$E_{20} = 1 - \tanh(6.02\varphi^{-0.68}Fr^{-1.22}) \quad (13)$$

Burada E_{20} 'nin 20°C 'de ki havalandırma verimini, Fr 'nin Froude sayısını ve φ 'nin akımın kesit alanının borunun kesit alanına oranını ifade ettiğini belirtmektedirler.

- Aytaç (2017) çalışmasında yüksek basınçlı kapaklı konduitlerden faydalananarak havalandırma işlemi gerçekleşmiştir. Konduit içerisindeki su hızının artışına paralel olarak havalandırma performansının da arttığını ifade etmiştir.
- Canpolat (2017) çalışmasında yüksek basınçlı kapaklı konduitlerin havalandırma performansını incelemiştir. Konduit kapak açıklık oranı düştükçe havalandırma performansının arttığını, en iyi havalandırma performansının ise konduit boyunun 3 m olması halinde gerçekleştiğini ifade etmiştir.

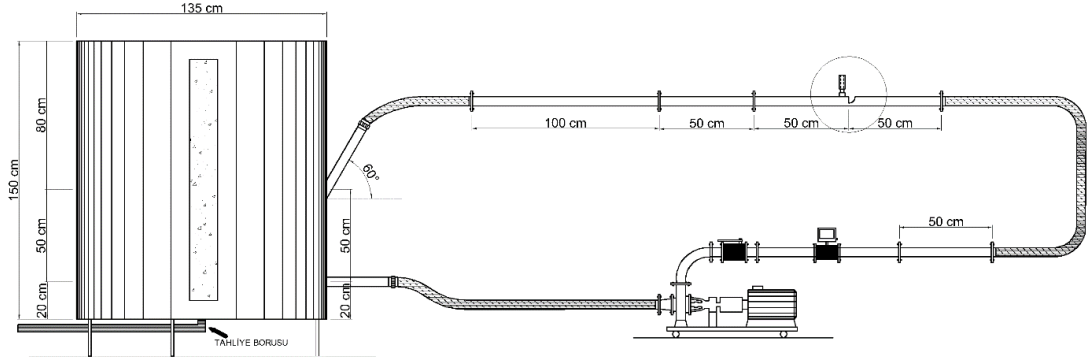
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1.Materyal ve Metot

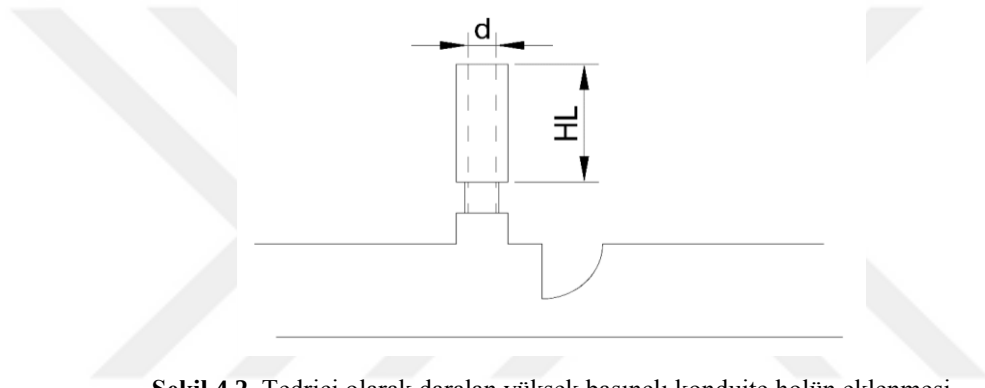
Yüksek basınçlı kondüitlerle desteklenmiş flotasyon kolonlarında (hücrelerinde), suyun hücreye taşınması sırasında konduit kapağının daraltılması sonucunda oluşan yüksek su hızı ve düşük basınç nedeniyle bu bölgede bir vakumlama etkisi meydana gelir. Bu bölgede atmosfere açılan bir hava holü yardımıyla dış ortamdan alınan hava, kabarcıklar halinde suya karışmış olur. Dolayısıyla flotasyon hücresine çok miktarda hava kabarcığı iletilir.

Şekil 4.1’de görülen deney düzeneği kullanılarak yapılacak deneylerde dairesel kesitli tedrici olarak daralan konduitlerde üç farklı hava alma holü (bacası) çapı(d), üç farklı hava alma holü (bacası) uzunluğu(HL), üç farklı konduit kapak açıklık oranı (K) ve beş farklı debi(Q) değeri kullanılarak flotasyon hücresi fiziksel özelliklerinin havalandırma dolayısıyla köpük flotasyonu performansı üzerindeki etkisinin optimum düzeyde belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla konduit içerisine giren havanın flotasyon verimi açısından optimum düzeyde olması arzulanmıştır.

Flotasyon işleminde oluşturulmak istenen hava kabarcığı flotasyon cihazının özelliklerine göre farklı şekillerde olabildiği için oluşan kabarcıkların ebat ve miktarları da özdeş olmayabilir. Bu sebeple mühendislik işlerinde temel anlamda olması gereken asgari materyal ve ekonomi kavramlarına yanıt verebilmek, aynı zamanda flotasyon işleminde optimum miktarda kabarcık elde edebilmek maksadı ile Şekil 4.3’de en kesiti görülen farklı açıklık oranına sahip yüksek basınçlı dairesel konduitlerden faydalanılmıştır. Sistemde faydalanılan konduitlerin daralma bölgelerinin hemen sonrasına 50mm cm çaplı hava deliği bırakılmıştır. Ve bu deliğe uyumlu polyemitden imal edilmiş Şekil 4.4’de görülen 9 adet hava alma holü çap ve uzunluğu eklenerek havalandırma performansına olan etkisi Şekil 4.2’de verildiği üzere incelenmiştir. Konduitler flotasyon hücresine farklı parametreler altında eklenmiş ve çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.



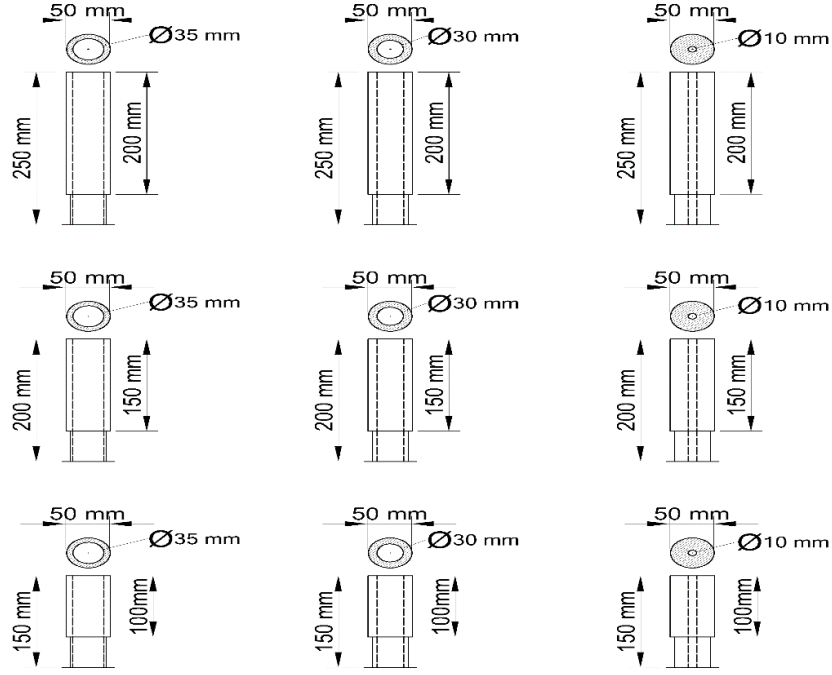
Şekil 4.1. Deney düzeneği



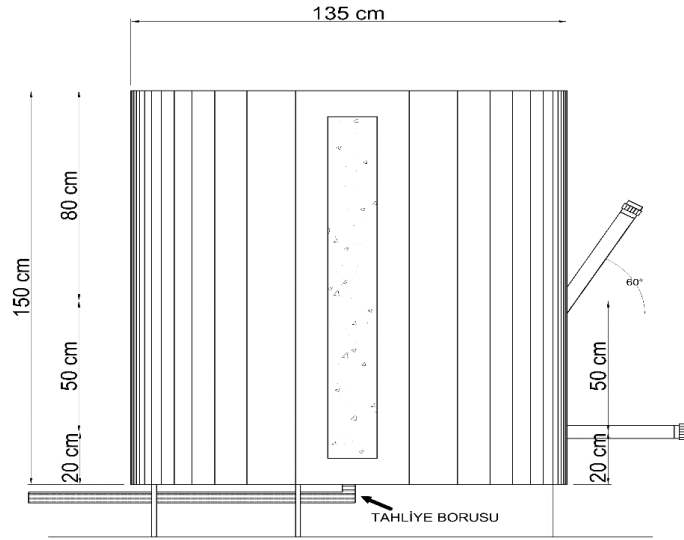
Şekil 4.2. Tedrici olarak daralan yüksek basınçlı konduite holün eklenmesi



Şekil 4.3. Konduit Kapak Açıklıkları ile hava alma deliği en kesit görünümü



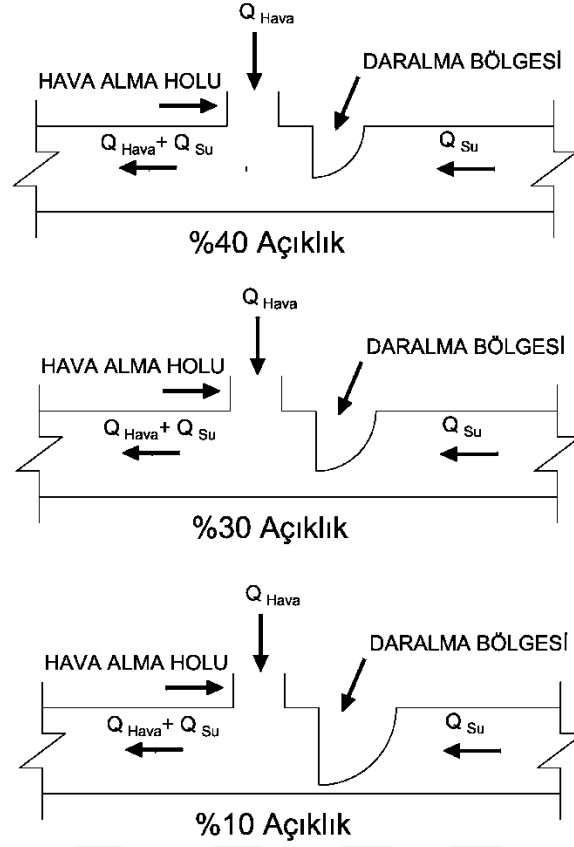
Şekil 4.4. Farklı uzunluk ve çaptaki hava alma holü



Şekil 4.5. Flotasyon hücresi

Meydana getirilmek istenen hava kabarcıkları için Şekil 4.5’de 135 cm çapında ve 150 cm yüksekliğinde bir flotasyon hücresi yapılmıştır.Yapılan hücrenin içinde meydana getirilmek istenen hava kabarcıklarının hareket ve fiziki faktörlerinin izlenebilmesi amacıyla yaklaşık olarak 30 cm’lik bir açıklık hücre boyunca bırakılmıştır.Bırakılan bu

açıklığa 10 mm ebatında temperli şeffaf bir cam yerleştirilmiştir. Flotasyon hücresinde meydana gelecek kabarcık sayısının optimum düzeyde olması maksadıyla, daha evvelki çalışmalar da dikkate alınarak tanka kendi tabanından itibaren 70cm yükseklik ve 60 derecelik açıyla saplanan bir bağlantı bulunmaktadır. Flotasyon işleminde gerekli olan hava kabarcıklarının oluşturulması için farklı açıklık oranına sahip 2m uzunluğunda ve $51,4 \cdot 10^{-4} m^2$ kesit alanına sahip 3 adet yüksek basınçlı dairesel konduit imal edildi. Şekil 4.6’de verilen %10,%30 ve %40 açıklık oranlarına sahip bu kondüitlerin daralma bölgelerinin hemen sonrasına konduit içine hava vakumlaması için 50mm çaplı hava deliği bırakılmıştır. Hava holü(bacası) çap ve boyunun havalandırmaya etkisini incelemek amacıyla 3 farklı boy ve her bir boyda ise 3 farklı çap olmak üzere toplam 9 adet polyemitten üretilmiş bağlantı elemanı bu deliğe eklenmiştir. Kullanılan boylar 10,15 ve 20 cm çaplar ise 15,30 ve 35 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 4.5’de görülen flotasyon hücrelerinden atık tahliyesini sağlayabilmek için laboratuvar zemininden 20 cm yükseklikte olacak biçimde hücreye monte edilmiş üç adet U profili şeklindeki ayak üzerinde durmaktadır. Sistemde gereken su şebeke suyundan temin edilmiştir. Deneylerde Flotasyon kolonunun (hücresinin) tabanı baz alınmak suretiyle 100 cm lik su seviyesinde çalışılmıştır. Flotasyon hücresinde dalan su jetinin üzerinde 50 cm’lik su yükü bulunmaktaydı. Elektromanyetik debimetre kontrolünde sistemin debisi ayarlanmaktadır. Vana kullanılarak farklı debilerde; meydana gelen kabarcık sayısı ve tabakası dijital fotoğraflama yöntemiyle, kondüitten emilen hava hızı ise bir anemometre yardımıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Deneylerde kullanılan konduitlerin boykesitleri

Sistemin tasarlanma amacına uygun parametrelerin ölçümü için farklı nitelikteki cihazlardan yararlanılmıştır;

a. Sistemin vakumladığı hava hızının ölçümü

Farklı açıklık oranlarına sahip yüksek basınçlı kapaklı dairesel konduitin kapak kısmının hemen ardından açılan hava alma holünden sisteme verilen her bir debi için Şekil 4.7 de görülen anemometre ile hız ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.7. Hava hızı ölçümlerinde kullanılan anemometre

b. Debi ölçümleri

Şekil 4.8’de görülen elektromanyetik debimetre kullanılarak sistemin debisi ayarlanmıştır. Yapılan deneylerde su hızının bir parametresi ve aynı zamanda boyutsuz bir değer olan froude sayısı hesaplanarak dikkate alınmıştır. Froude sayısı hesaplanırken konduit kapağının mansabında yer alan vena contracta bölgesi diye adlandırılan bölgedeki hız ve akım koşullarındaki değerler dikkate alınmıştır. Froude sayısı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 4.1, Tablo 4.2. ve Tablo 4.3’ de gösterilmiştir.

$$F_r = \frac{V_c}{\sqrt{g h_c}} \quad (13)$$

Burada; V_c vena contracta bölgesindeki hız; g yer çekimi ivmesi; ve h_c vena contracta bölgesinde akım derinliğidir.

Vena contracta bölgesindeki hız ise;

$$V_c = \frac{Q_w}{B h_c} \quad (14)$$

Burada Q_w su debisi; ve B konduit genişliğidir.

Vena contracta bölgesindeki akım derinliği ise;

$$h_c = C_c h \quad (15)$$

Burada C_c katsayı; ve h kapak açıklık miktarıdır.

Tablo 4.1. %10 açıklık için Hesaplanan F_r değerleri

Q_w (lt/s)	V_w (m/s)	A_w (m ²)	B (m)	F_r (-)
2,5	4,86	5,14	5,88	16,61
5	9,73	5,14	5,88	33,22
7,5	14,59	5,14	5,88	49,83
10	19,46	5,14	5,88	66,44
12,5	24,71	5,14	5,88	84,37

Tablo 4.2. %30 açıklık için Hesaplanan Fr değerleri

Q_w (lt/s)	V_w (m/s)	A_w (m ²)	B (m)	F_r (-)
5	3,24	15,42	7,67	7,30
10	6,49	15,42	7,67	14,60
15	9,73	15,42	7,67	21,90
20	12,97	15,42	7,67	29,21
25	16,54	15,42	7,67	37,24

Tablo 4.3. %40 açıklık için Hesaplanan Fr değerleri

Q_w (lt/s)	V_w (m/s)	A_w (m ²)	B (m)	F_r (-)
6	2,92	20,56	7,99	5,81
12	5,84	20,56	7,99	11,62
18	8,75	20,56	7,99	17,43
24	11,67	20,56	7,99	23,23
30	14,35	20,56	7,99	28,56



Şekil 4.8. Krohne marka elektromanyetik debimetre

c. Hava kabarcık sayısı ve yoğunluğu gözlemi

Bilgisayar destekli fotoğraflama yöntemiyle kullanılarak elde edilmiştir.

d. Pompa

Geri beslemeli olarak tasarladığımız sistemde devir daim Şekil 4.9 de verilen pompa vasıtasıyla sağlanmıştır.



Şekil 4.9. Pompa

4.2.Deneyin Yapılışı

Şekilde 4.10 görülen Flotasyon kolonu (hücresi) ve konduitle ile geri beslemeli olarak tasarladığımız sistemin kullanılan deneyleri Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı ortamda atmosfer basıncı yaklaşık 677 mm Hg ve nispi nem yaklaşık %60 olarak tespit edilmiştir. Deneye Şekil 4.11 de görülen flotasyon hücresine bir hortum yardımıyla tabandan itibaren 100 cm seviyesine kadar musluk suyu doldurularak, Şekil 4.12 de verilen 3 farklı açıklık oranına sahip konduitlerden ilki olan 2,5 m uzunluğunda %40'lık açıklık oranına sahip yüksek basınçlı kapaklı konduitin havalandırma performansını tespit etmek amacı ile başlanmıştır. İlk olarak sistemden geçen maksimum debinin tespiti için sistemin debi kontrolünü sağlayan vana sonuna kadar açılarak 30 lt/sn'lik değer elde edildi. 5 farklı debi ile çalışılacağı için bulunan bu maksimum debi değeri 5 'e bölünerek sistemden geçen minimum debi olan 6lt/sn elde edildi. Sistemde kullanılacak diğer debiler ise $6m^3/sn$ 'lik minimum debi baz alınıp aritmetik olarak 12,18,24 ve 30 lt/sn olmak üzere toplam 5 farklı debi belirlendi. Sonrasında konduitde yer alan hava holüne(bacasına) Şekil 4.13'de görülen 9 adet holden biri olan 10cm boy ve 15mm çapdaki eklenerek sistem geri beslemeli olarak çalıştırıldı. Ve minimum debi değerinden başlamak üzere sistemden geçen her bir debi için parça üzerinde açılan holden konduit içine vakumlanan havanın hızı anemometre ile ölçüldü. Farklı hol çap ve uzunluğuna sahip diğer 8 bağlantı elemanı içinde aynı işlemler tatbik edildi. Örneğin Şekil 4.14'de %40 açıklık oranına sahip konduite 10 cm boy ve 15mm çapındaki holün eklenmiş hali görülmektedir. Hız tespit

edilirken her debi değeri için anemometre ile yaklaşık 2 dakikalık ölçüm yapılarak giren hava hızının ortalaması alınmıştır. Alınan bu ortalama hız havanın girdiği holün çapı kullanılarak elde edilen hol alanıyla çarpılarak hava debisi hesaplanmıştır. Deneye yine aynı uzunluğa sahip %30 ve %10 açıklık oranına sahip yüksek basınçlı kapaklı kondütlerle devam edildi. Deneye %30 ve %10 açıklık oranına sahip kondütler içinde yukarıda tatbik edilen işlemlerin aynısı sıra ile yapıldı. Maksimum debi baz alınarak %30 açıklık oranına sahip konduit de kullanılan debiler 5,10,15,20,25 lt/sn olurken, %10 açıklık oranına sahip konduit de bu değerler 2.5,5,7.5,10,12.5 lt/sn olmuştur. Herbir açıklık oranı için yapılan deneylerde, gözlemlerin daha net fotoğraflanabilmesi maksadıyla deneye başlamadan önce flotasyon hücresinde bulunan su, hücrenin altında yapılmış olan tahliye borusuyla uzaklaştırılıp hücre 95cm seviyesine kadar tekrardan tazelenmiş musluk suyuyla doldurulmuştur.



Şekil 4.10. Kondüitle desteklenmiş flotasyon hücresi



Şekil 4.11. Flotasyon hücresi



Şekil 4.12. Deneylerde kullanılan 3 farklı açıklık oranına sahip tedrici daralan konduit



Şekil 4.13. Farklı uzunluk ve çapdaki polyemit türevli holler



Şekil 4.14. Yüksek basınçlı konduite hava holü eklenmesi

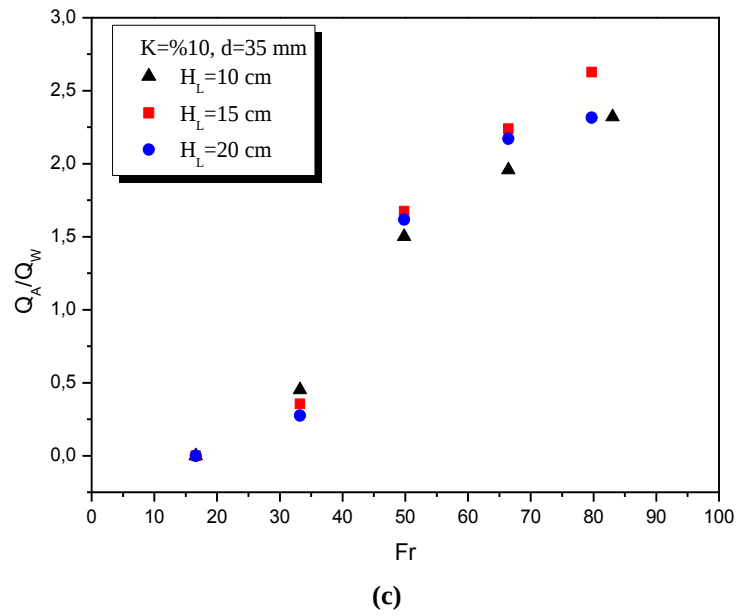
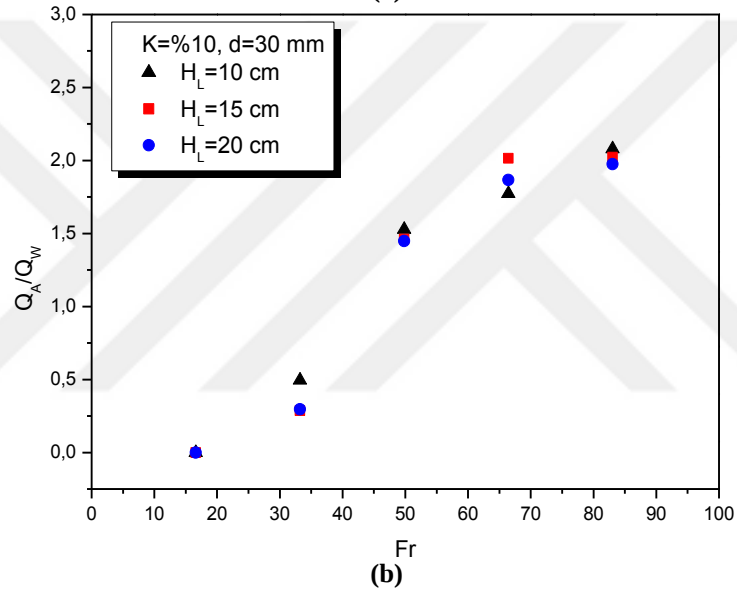
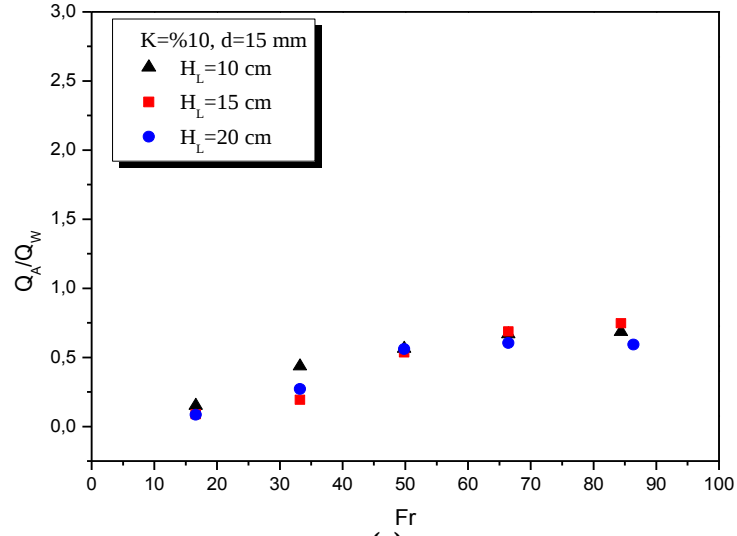
4.3. Bulgular ve Değerlendirmeler

4.3.1. Hava Alma Holü Uzunluğunun Havalandırma Performansına Etkisi

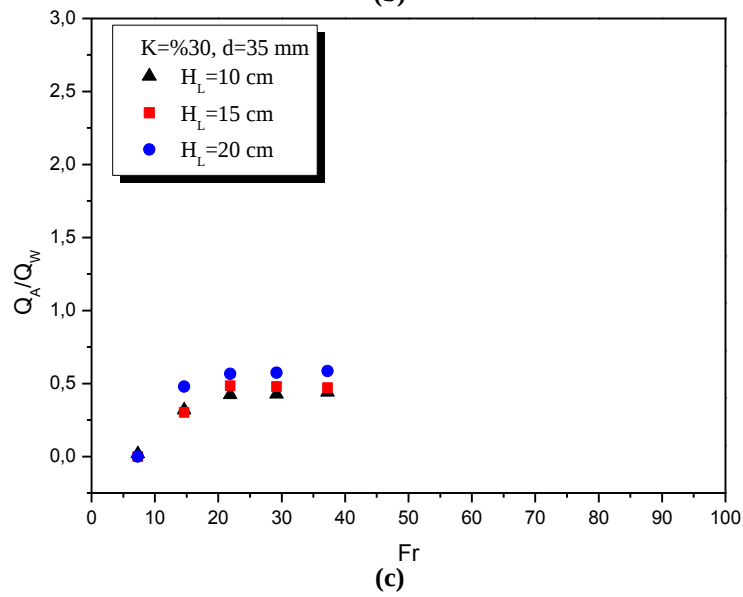
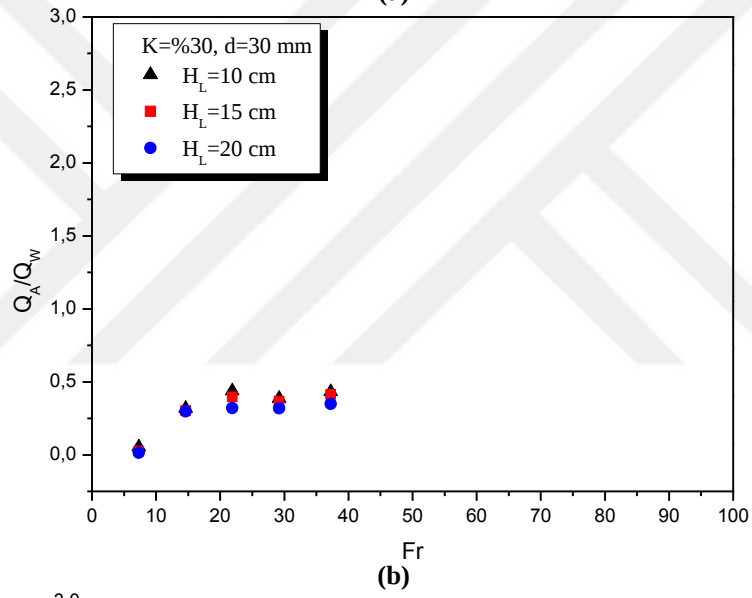
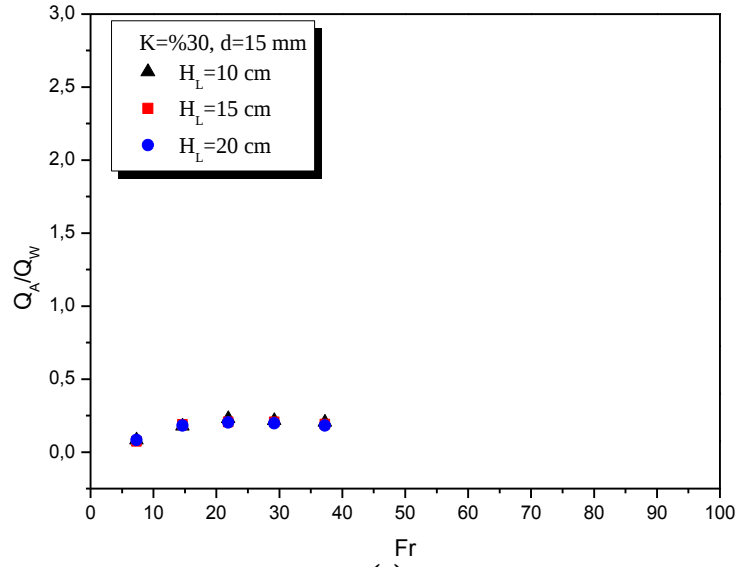
HL= 10,15,20 cm olan hava holü(bacası) uzunluklarının, konduit kapağı açıklık oranı (boru kesit alanının $K=\%10$, $\%30$, ve $\%40$ ' na karşılık gelen açıklık değerlerinde) ve hava holü çapına (d) göre havalandırma performansına etkisi Şekil 4.15(a,b,c), 4.16(a,b,c) ve 4.17(a,b,c) olmak üzere 3 kategori de görülmektedir. Hol çapı ve açıklık oranı sabit tutulup üç farklı hol boyunun havalandırma performansı incelenmiştir.

Şekil 4.15(c) de görüldüğü üzere $K=\%10$ ve $d=35$ mm değerinde en yüksek havalandırma performansı elde edilmiştir.

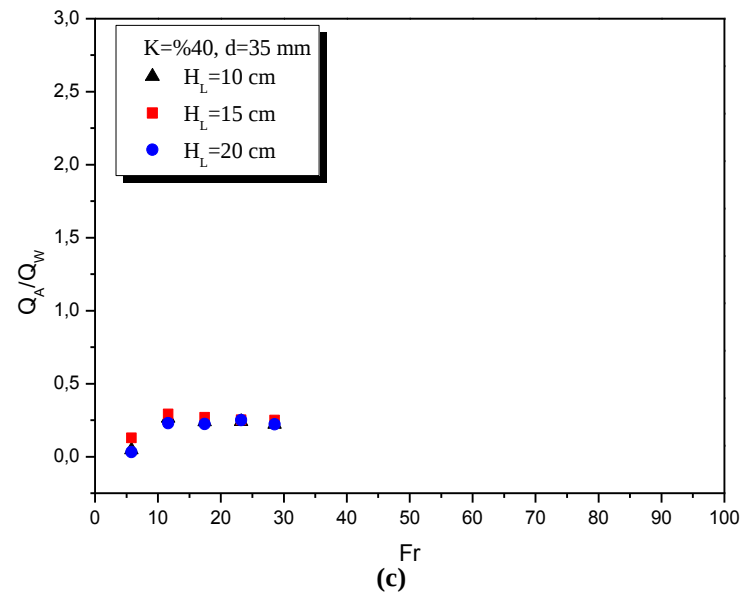
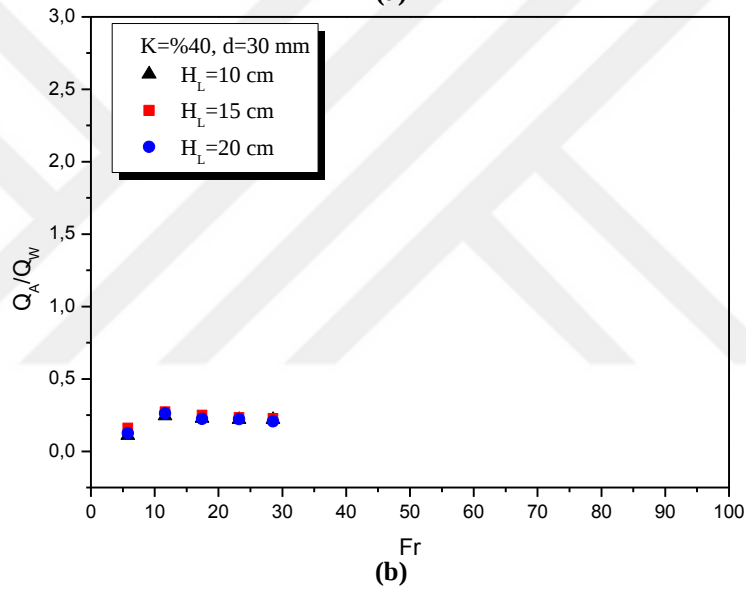
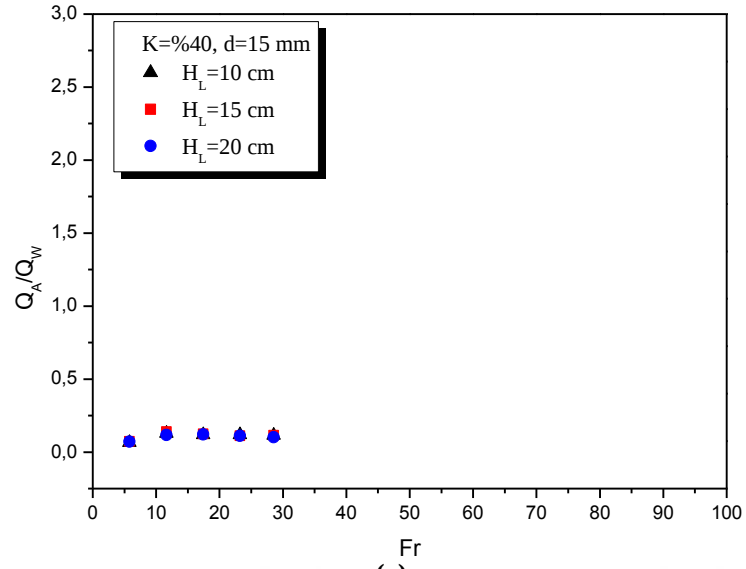
Yine Şekil 4.17 (c) de görüldüğü gibi $K=\%40$ ve $d=35$ mm değerlerinde de en düşük havalandırma performansı gerçekleşmiştir. Bu gruba ait tüm deney dizilerinde Froude sayısının artmasına bağlı olarak Q_A/Q_W oranı da artmıştır. Optimum havalandırma değerinin 10 ile 20 cm boyları arasında olduğu gözlemlenmiştir. $K=\%10$ olduğu deney gruplarında hava holü uzunluğunun önemli bir etkisinin olduğu ancak diğer açıklık oranlarında hol uzunluğunun havalandırma performansına pek bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Hol çapının artmasına bağlı olarak konduite giren hava oranının da arttığı, bunun sonucunda da gerçekleşen havalandırma miktarının da arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.15. (a),(b),(c) %10 Kapak açıklık oranında hava holü uzunluğunun Q_a/Q_w ile değişimi



Şekil 4.16. (a),(b),(c) %30 Kapak açıklık oranında hava holü uzunluğunun Q_A/Q_W ile değişimi



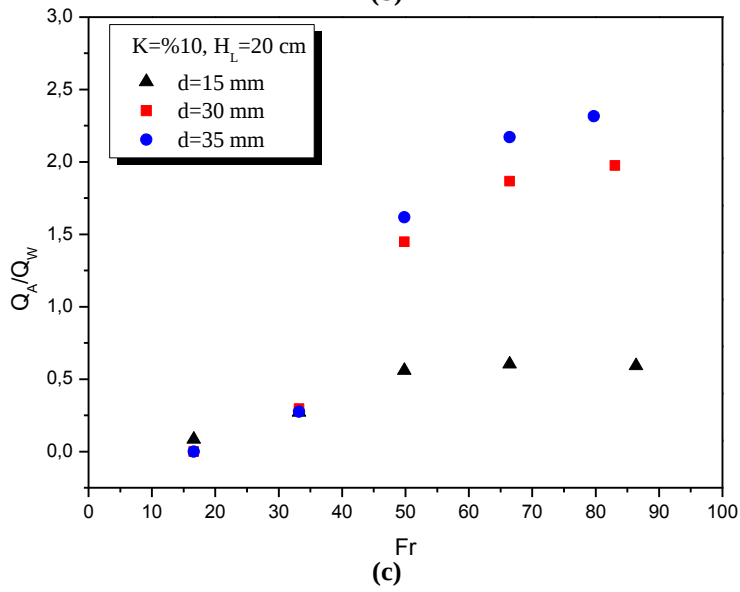
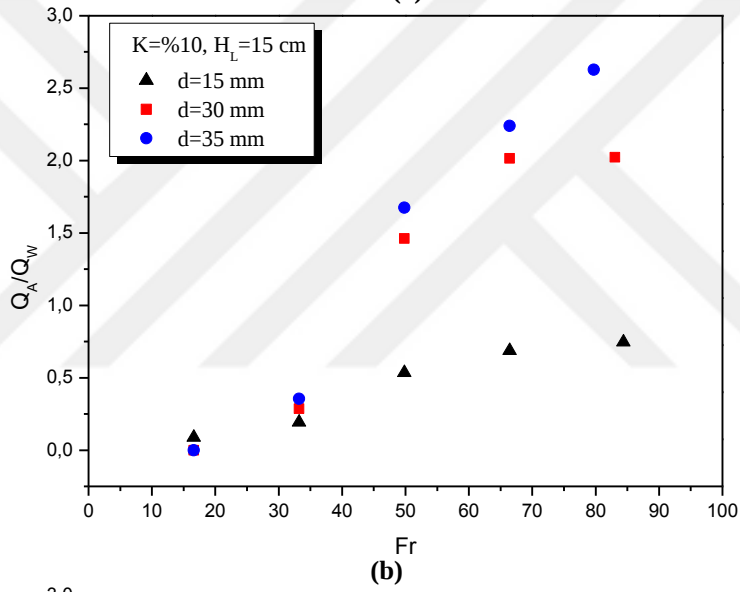
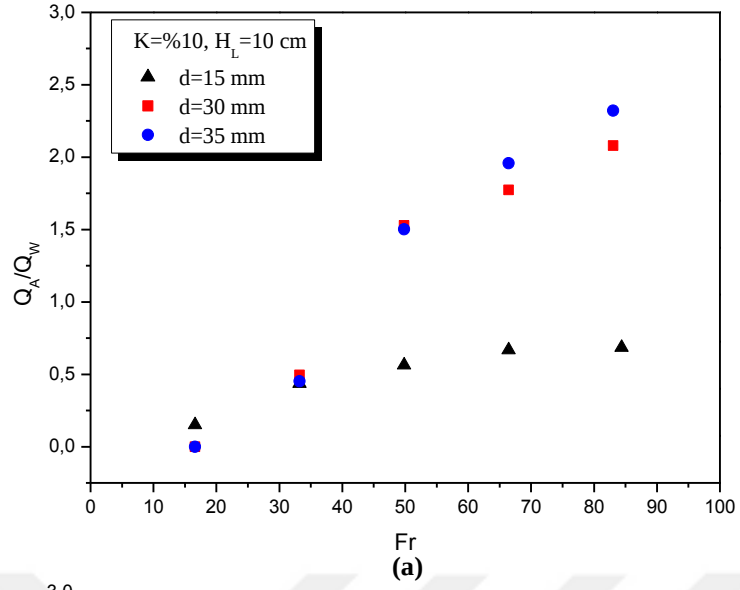
Şekil 4.17. (a),(b),(c) %40 Kapak açıklık oranında hava holü uzunluğunun Q_A/Q_W ile değişimi

4.3.2. Hava Alma Holü Çapının Havalandırma Performansına Etkisi

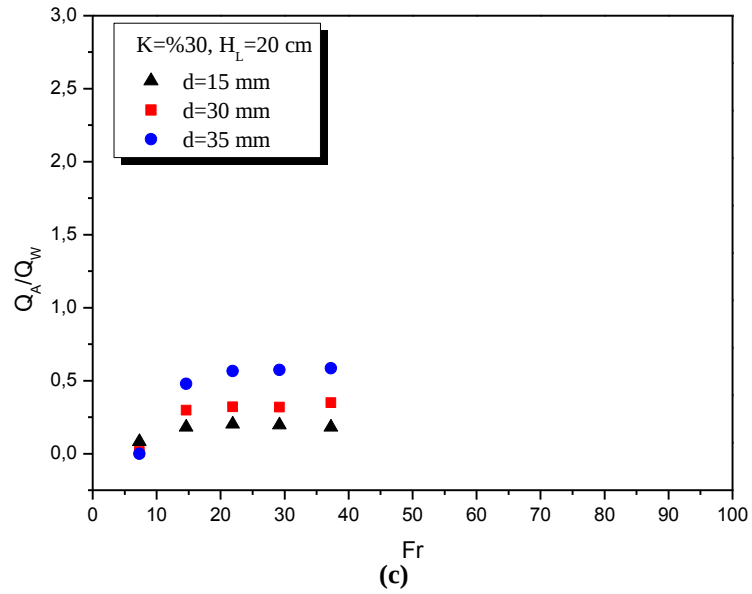
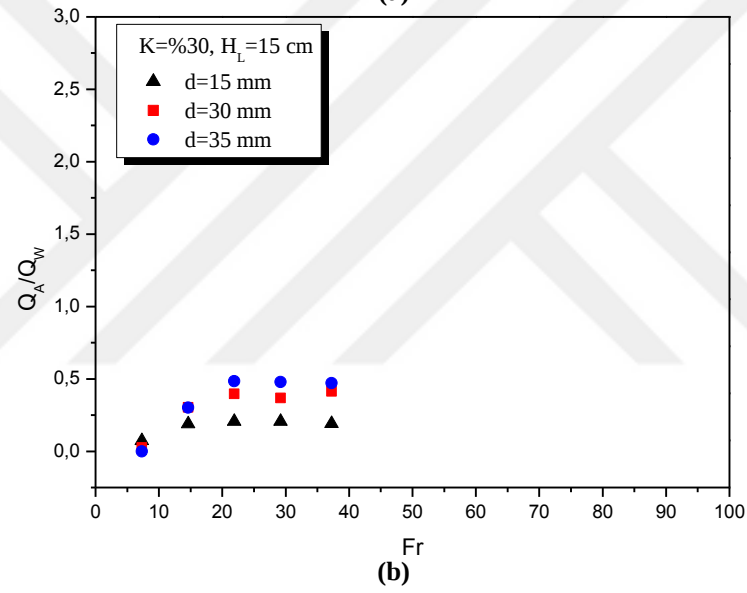
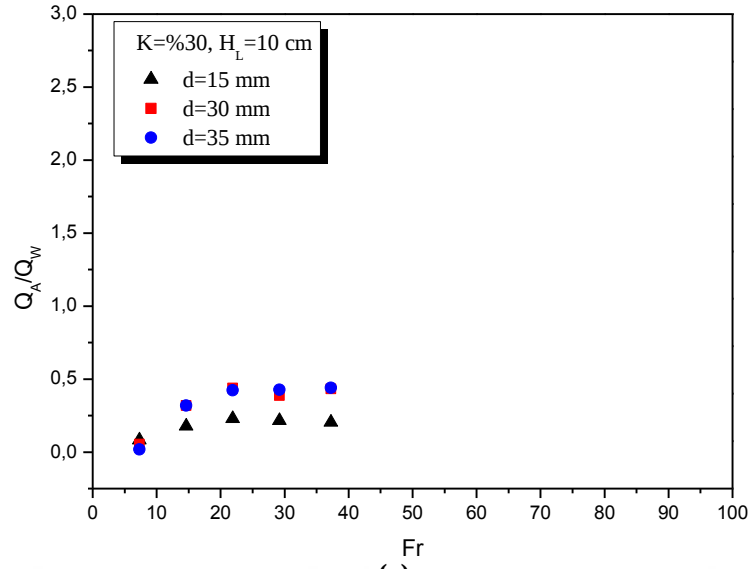
Hava holü (bacası) çaplarının, konduit açıklık oranları ve hol uzunluklarına göre havalandırma performansına etkisi Şekil 4.18(a,b,c), 4.19(a,b,c) ve 4.20(a,b,c) de gösterilmiştir. Hol boyu ve açıklık oranı sabit tutulup üç farklı hol çapının havalandırma performansı incelenmiştir. Grafiklerde görüldüğü üzere hol çapı arttıkça havalandırma oranı artmıştır. Maksimum havalandırma performansı Şekil 4.18(b) görüldüğü üzere $K=10\%$ ve $HL=15\text{cm}$ değerlerinde gerçekleşmiştir. Yine Şekil 4.20(c) de görüldüğü üzere minimum havalandırma performansı $K=40\%$ ve $HL:20\text{ cm}$ değerlerinde olmuştur. Hol çapı arttıkça havalandırma oranının artması şu şekilde izah edilebilir. Hol çapının artması hava giriş en kesit alanı da artırmış olmakta buda otomatik men hava giriş debisini arttırmıştır. Bir akışkan olan havanın debisi kesit alanı ve hız ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla kesit alanın artmasıyla hava giriş miktarı da artmaktadır. Öte yandan $K=30\%$ ve 40% değerlerinde de yine hol çapı arttıkça havalandırma performansı yükselmiştir. Fakat bu açıklık değerlerinde Froude sayısının artmasıyla Q_A/Q_W oranında pek bir değişme olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.18(a), Şekil 4.18(b) ve Şekil 4.18(c) de görüldüğü üzere özellikle açıklık oranının 10% olduğu deney gruplarında froude sayısının 30 dan büyük olduğu durumlarda Q_A/Q_W oranı ciddi bir artış göstermiştir.

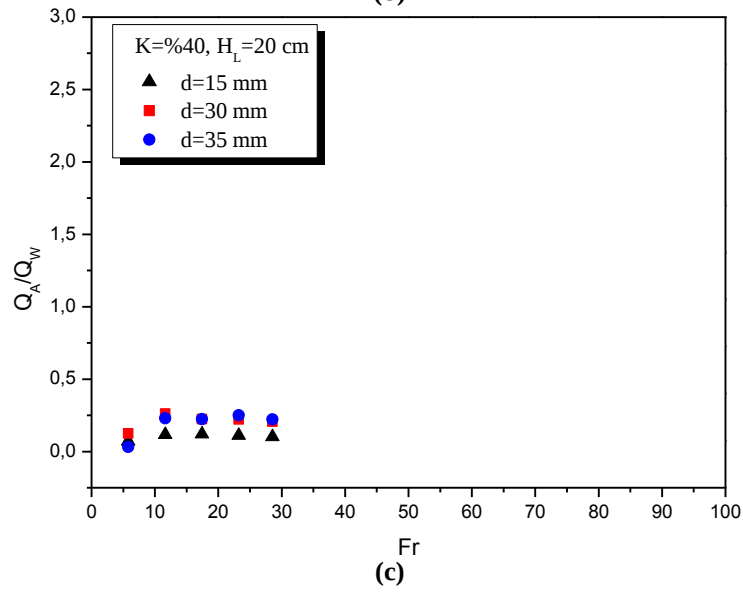
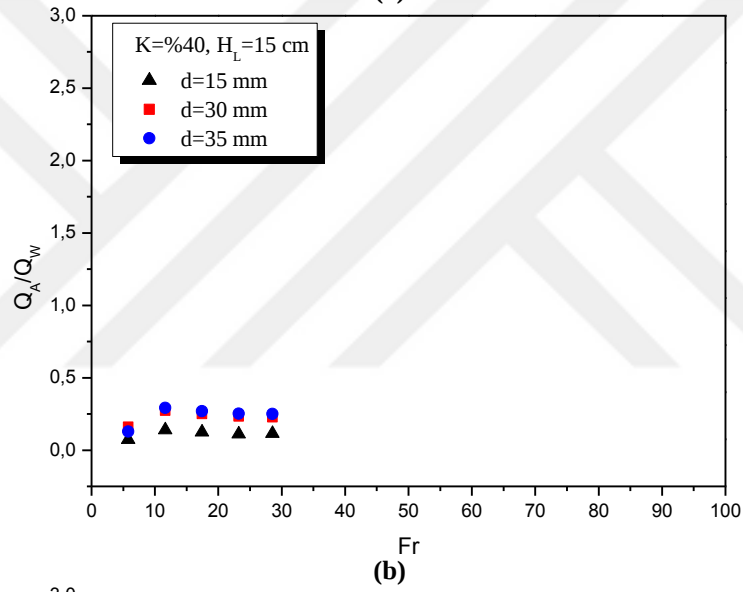
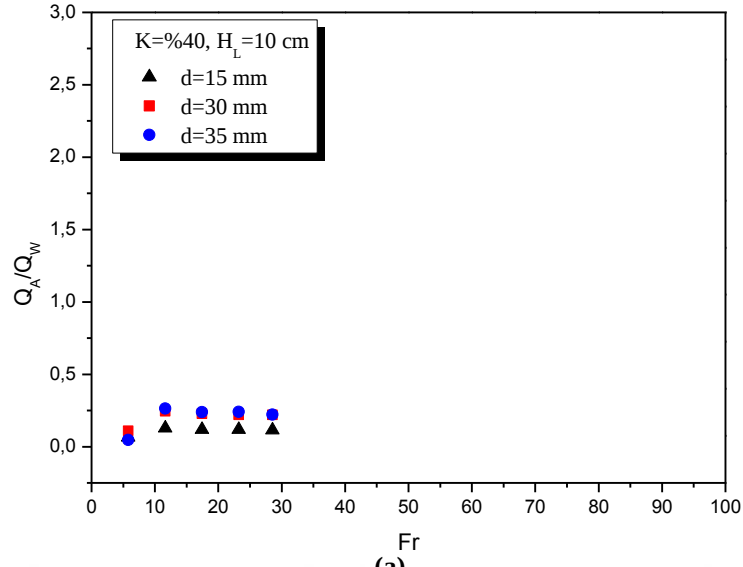
Şekillerden de görüleceği üzere özellikle küçük froude değerlerinde 15 ve 30 mm hol çaplarında daha iyi havalandırma performansı gözlemlenmiştir. Bu şöyle izah edilebilir; küçük debi değerlerinde çok az bir hava girişi olduğundan hol kesitinin büyük olduğu durumda hava hızı ölçülememiştir. Sonuç olarak hava giriş holü çapının artmasıyla havalandırma ve flotasyon performansını artacağı söylenebilir.



Şekil 4.18. (a),(b),(c) %10 Kapak açıklık oranında hava holü çapının Q_A/Q_W ile değişimi



Şekil 4.19. (a),(b),(c) %30 Kapak açıklık oranında hava holü çapının Q_A/Q_W ile değişimi



Şekil 4.20. (a),(b),(c) %40 Kapak açıklık oranında hava holü çapının Q_A/Q_W ile değişimi

4.3.3. Konduit Açıklık Oranlarının Havalandırma Performansına Etkisi

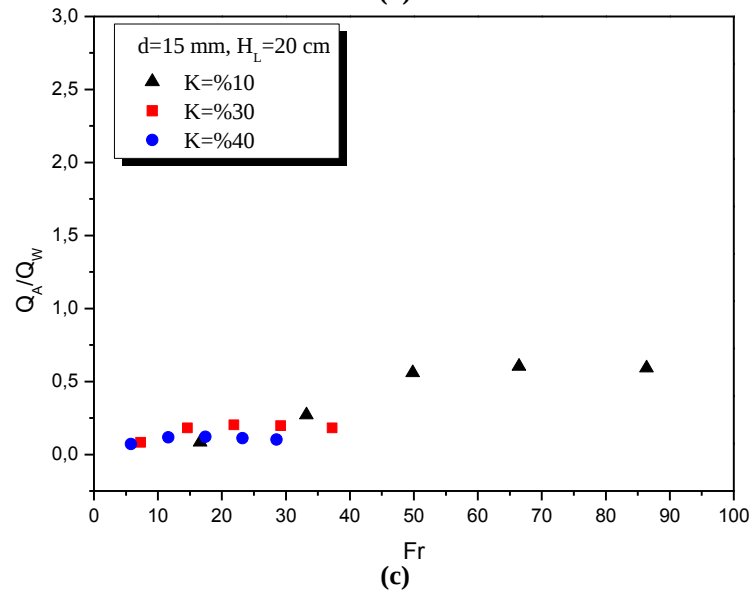
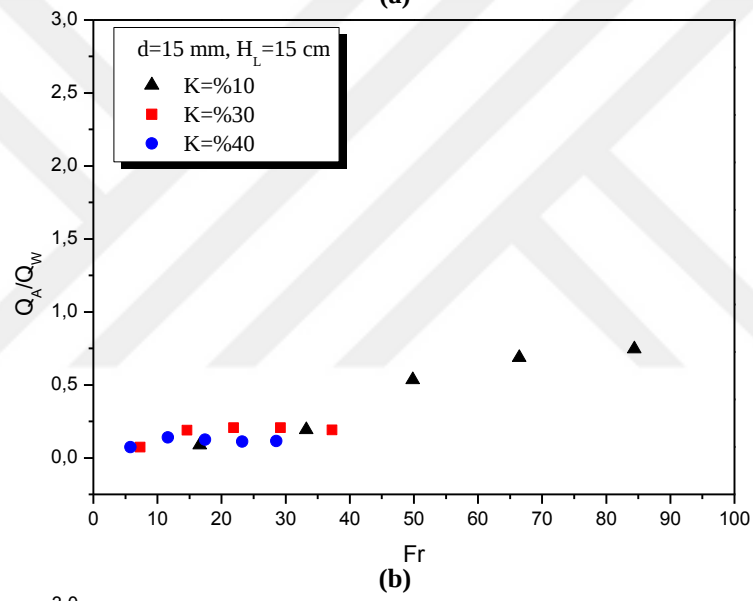
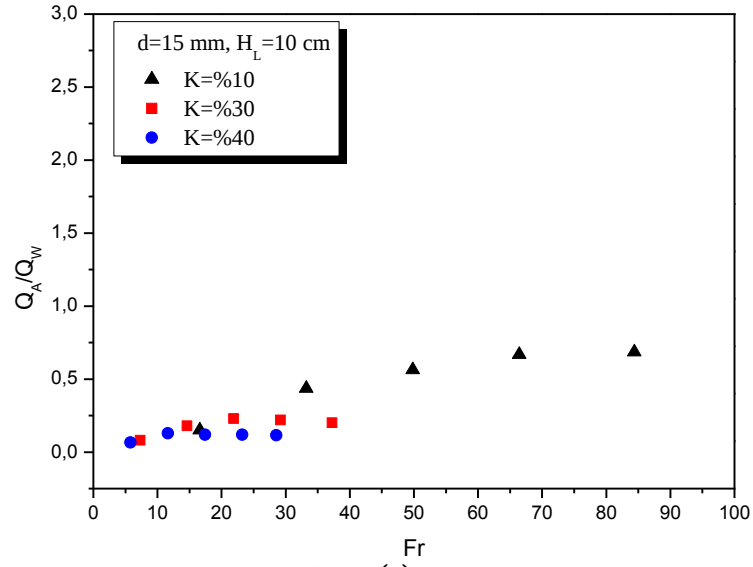
K=%10,%30 ve %40 açıklık oranlarının, hol çapı ve uzunluğuna göre havalandırma performansına etkisi şekil a-l de gösterilmiştir.

Şekil 4.21(a,b,c), 4.22(a,b,c) ve 4. 23(a,b,c) de görüldüğü üzere %10 - %30 - %40 açıklıklı konduitler kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre; açıklık oranı düştükçe Q_a/Q_w oranı da artış göstermiştir. Dolayısıyla %10'luk konduit açıklık oranında sisteme çekilen hava kabarcığı miktarı maksimum olmaktadır.

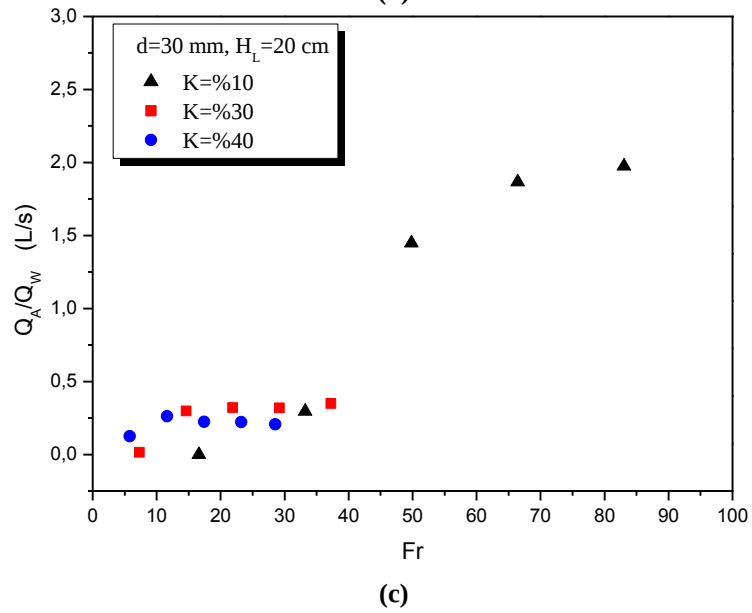
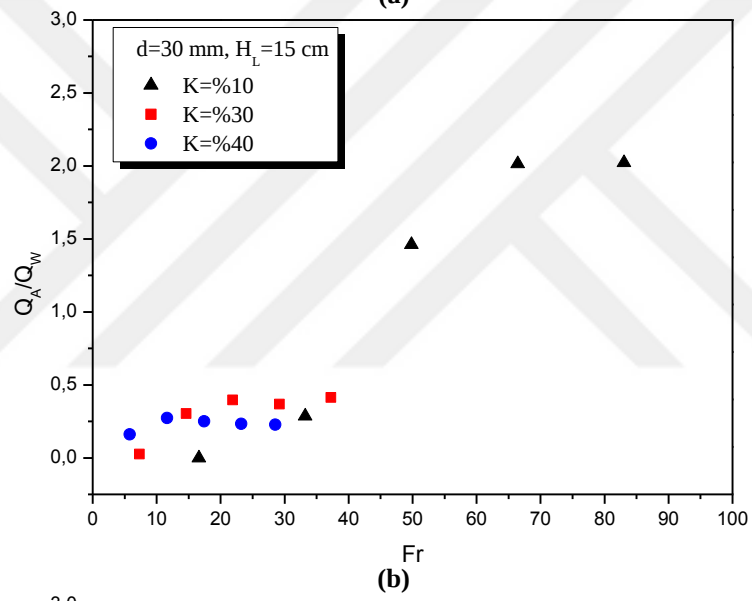
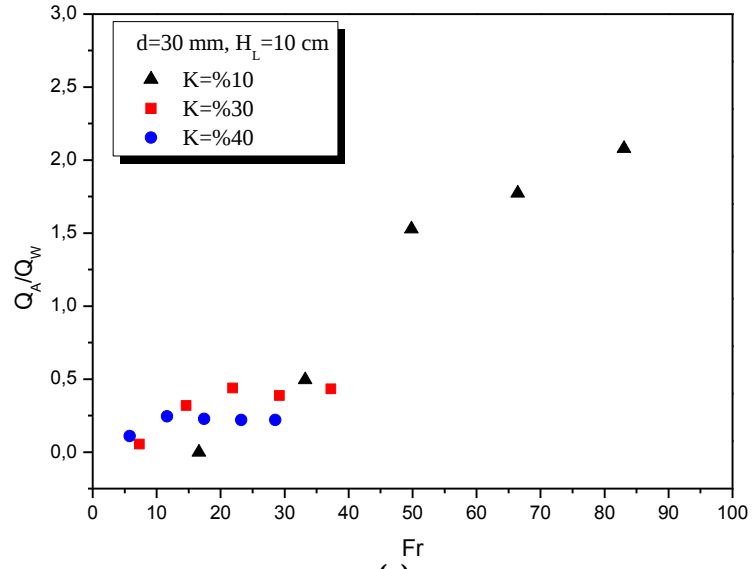
Ayrıca Froude sayısının 10 ve 10'dan daha küçük değerlerinde her deney grubunda Q_a/Q_w oranları birbirine çok yakın hatta eşit olmasına rağmen Froude sayısının 10'dan büyük değerlerinde Q_a/Q_w oranları arasında belirgin değer farklılıkları meydana gelmiştir. Tüm hol uzunlukları kendi içerisinde ayrı ayrı incelendiği zaman konduit açıklıklarının azalmasıyla Q_a/Q_w oranı daha yüksek değerler almıştır. Kapak açıklığının artmasıyla kapağın memba ve mansap kısımlarındaki basınç farkı düşecek ve buna bağlı olarak da atmosferden emilen hava miktarı azalacak buda hava kabarcığı miktarında düşüşe sebep olacaktır.

. Şekil 4.23(b) de görüldüğü üzere $d=35\text{mm}$ ve $HL=15\text{ cm}$ değerlerinde maksimum havalandırma verimi elde edilirken, Şekil 4.22(a), Şekil 4.22(b), Şekil 4.22(c), şekil4.23(a), Şekil 4.23(b) ve Şekil 4.23(c) de ise minimum havalandırma verimi elde edilmiştir. K=%30 ve %40 açıklık değerlerindeki havalandırma verimlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

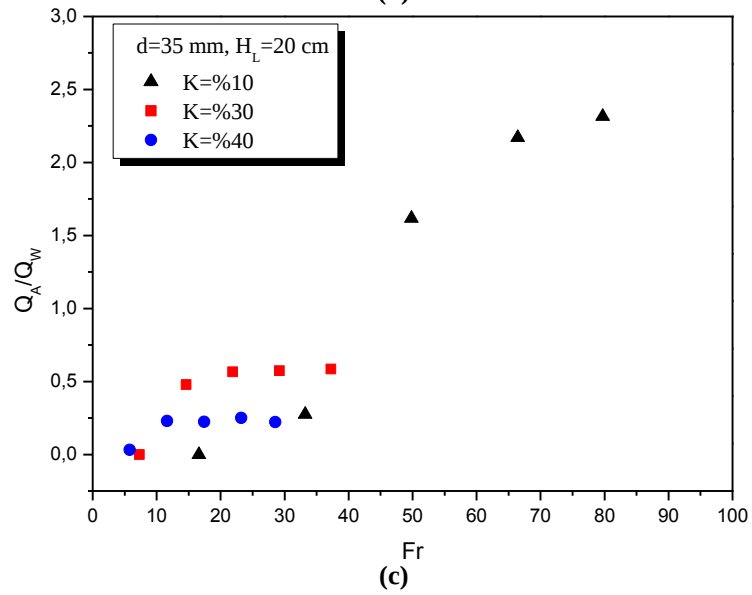
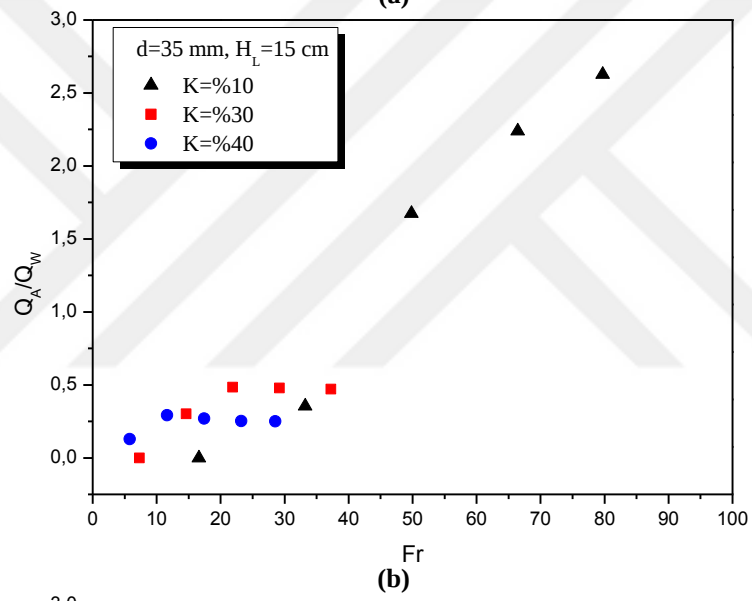
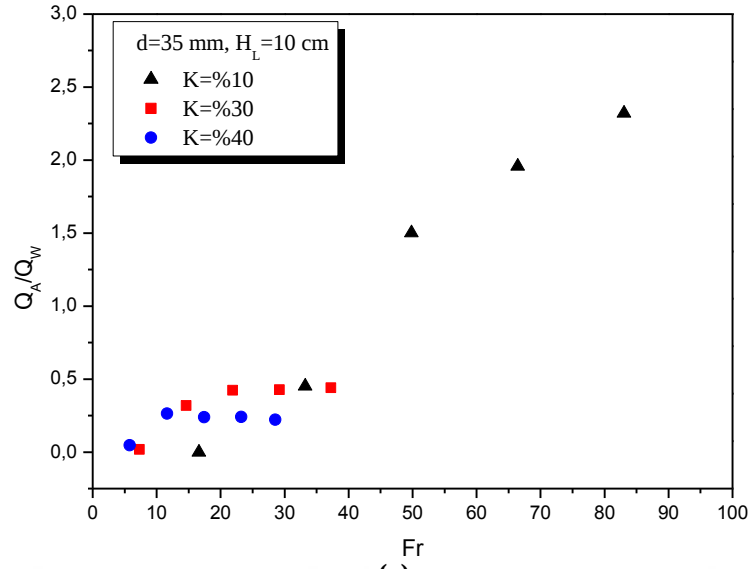
Tüm deney gruplarında en yüksek Q_a/Q_w yani havalandırma değeri 2,63 olarak ölçülürken, en düşük havalandırma değeri 0 olarak ölçülmüştür



Şekil 4.21. (a),(b),(c) $d=15$ mm hol çapı için farklı hol uzunluklarında konduit açıklık oranı etkisi



Şekil 4.22. (a),(b)(c) $d=30$ mm hol çapı için farklı hol uzunluklarında konduit açıklık oranı etkisi



Şekil 4.23. (a),(b),(c) $d=35$ mm hol çapı için farklı hol uzunluklarında konduit açıklık oranı etkisi

4.3.4. Farklı Hol Boyu, Hol Çapı ve Konduit Açıklık Oranlarına Bağlı Maksimum Debilerde Meydana Gelen Kabarcıkların Gözlemlenmesi

Şekil 4.24 de görüldüğü üzere %10'luk açıklık oranında sisteme büyük miktarda hava vakumlanmış bunun sonucunda da flotasyon hücresi içinde iyi denilebilecek oranda gaz kabarcığı meydana gelmiştir. Hücrenin belirli bir kısmında ölü bölge(kabarcık oluşumunun çok az veya hiç olmadığı kısım) oluşumları görülmüştür



Şekil 4.24. HL=10 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.25 de hol çapının artmasına bağlı olarak havalandırma alanı artmış bunun sonucunda da sistemin havalandırma performansı yükselmiştir. Meydana gelen kabarcıklar gözle seçilebilir büyüklükte ve miktarda olmuştur. Flotasyon hücresinin alt kısımlarında belirgin bir şekilde ölü bölge oluşumu gözlemlendi.



Şekil 4.25. HL=10 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.26 de görüldüğü üzere hol çapının 35 mm olduğu değerde havalandırma alanı iyice büyümüş buna mukabil giren hava miktarı da pik seviyeye ulaşmıştır. Özellikle hücrenin üst kısmında büyük ebatta kabarcıkların meydana geldiği gözlenmiştir. Yine Şekil 4.24 ve Şekil 4.25 deki gibi flotasyon hücresinin belirli bir kısmında ölü bölge oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.26. HL=10 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.27’de hava holü uzunluğunun 10mm den 15 mm ye çıkması sonucu sistemin Q_a/Q_w oranı büyük oranda artmış,bunun sonucunda havalandırma performansıda yükselmiştir. Daha küçük ebatta fakat daha çok sayıda kabarcığın oluştuğu gözlenmiş. Ve meydana gelen kabarcıklar flotasyon hücresinin tümüne nüfuz etmiş, ölü bölge oluşumu yok denecek kadar az bi bölgede gerçekleşmiştir.



Şekil 4.27. HL=15 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.28’de Şekil 4.27’den farklı olarak hol çapı artmış, bunun sonucunda meydana gelen kabarcıkların ebatlarının daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Fakat meydana gelen kabarcıklar hücrenin tümüne nüfuz edememiş, ölü bölge oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.28. HL=15 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.29’de tüm deney grupları içerisindeki en yüksek havalandırma performansına sahiptir. K=%10 açıklık oranı diğer iki açıklık oranına göre daha dar olduğu için bu bölgedeki hız artışı daha fazla oldu ve iç basıncın diğer açıklık oranlarına göre daha fazla azaldı. Bundan dolayı sistem dış ortamdan daha büyük oranda ve hızda hava vakumlaması gerçekleştirdi. Ayrıca hol çapı da d=35 mm olduğundan hava alma alanını en yüksek seviyeye ulaştırmıştır. Bu iki parametrenin biraraya gelmesi neticesinde de havalandırma performansı pik seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 4.29. HL=15 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.30'de hol boyu artmış ve bununla havalandırma performansını arttırdığı söylenebilir. Meydana gelen kabarcıkların ince ebatlı ve çok sayıda olduğu gözlenmiştir. Öte yandan kabarcıkların flotasyon hücresinin büyük bir kısmına nüfuz ettiği görülmüştür.



Şekil 4.30. HL=20 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.31 de görüldüğü üzere 20 cm lik hol boyu ile 30 mm lik hol çapı bir araya geldiğinde iyi bir havalandırma performansı gerçekleşmiştir. Hava kabarcıkları hem miktar hem de ebat noktasında tatmin edici sonuçlar vermiştir. Kabarcıklar flotasyon hücresinin her tarafına taramıştır.



Şekil 4.31. HL=20 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.32 de 20 cm hol boyu ve 35 mm hol çapı ile birlikte çalıştırılan sistemde iyi oranda kabarcıklanma gözlenmesine karşın aynı hol boyunda ve 30 mm lik hol çapında flotasyon hücresinin daha büyük bir kısmında kabarcık taraması gerçekleşmiştir.



Şekil 4.32. HL=20 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%10 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

%10 açıklık oranlı konduit kullanılarak yapılan deneylerde tüm hol boylarında meydana gelen hava kabarcıklarının daha az ve küçük boyutta olduğu söylenebilir. Öte yandan 30 ve 35 mm hol çaplarında ise 15 mm lik hol çapının yaklaşık olarak 3-4 katı kadar hava kabarcığının oluştuğu gözlenmiştir.

Şekil 4.33 de görüldüğü üzere froude sayısının artışına paralel olarak flotasyon hücresinin üst kısmında büyük ebatlarda ve net şekilde kabarcık oluşumu gözlenmiştir. Meydana gelen kabarcıkların flotasyon hücresinin her tarafına homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür.



Şekil 4.33. HL=10 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 için, Şekil 4.33’de ifade edilenlerden farklı olarak hücrenin üst kısmında daha küçük ebatta kabarcığın gözlemlendiği söylenebilir. Yine Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 de görüldüğü üzere kabarcıkların flotasyon hücresinin tamamına nüfuz etmiştir.



Şekil 4.34. HL=10 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar



Şekil 4.35. HL=10 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.36'de görüldüğü üzere kabarcık oluşumu flotasyon hücresine homojen olarak dağılmıştır. Meydana gelen kabarcıkların ince boyutlu oldukları gözlenmiştir



Şekil 4.36. HL=15 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.37’de hol çapının büyümesine bağlı sistem içine çekilen hava miktarı artmıştır. Bu nedenle kabarcık boyut ve miktarında gözle görülür bir artış gözlenmiştir.



Şekil 4.37. HL=15 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.38 da ise hava alma alanı ve froude sayısının artmasına bağlı olarak vakumlanan kabarcık yoğunluğu artmıştır. Ölü bölge oluşumuna rastlanmamıştır.



Şekil 4.38. HL=15 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.39. de görüldüğü üzere flotasyon hücresinin alt kısımlarında daha seyrek kabarcıklanma gerçekleşirken üst kısımda daha fazla kabarcık oluşmuştur.



Şekil 4.39. HL=20 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.40 de meydana gelen hava kabarcıklarının flotasyon hücresini bütününe nüfuz ettiği gözlemlendi. Kabarcık boyutunun ise Froude sayısının artışına bağlı olarak yükseldiği söylenebilir



Şekil 4.40. HL=20 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.41 da hava alma holü çapının artması neticesinde oluşan kabarcık boyutu büyüdüğü ve arttığı gözlemlendi. Ölü bölge oluşumu görülmedi.



Şekil 4.41. HL=20 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%30 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

%30 açıklık oranlı konduit kullanılarak yapılan deneylerde 15 mm lik hava holü çapı değerinde tüm hol boylarında meydana gelen hava kabarcıklarının daha az ve küçük boyutta olduğu söylenebilir. Öte yandan 30 ve 35 mm hol çaplarında ise 15 mm lik hol çapının yaklaşık olarak 2 ila 3 katı kadar hava kabarcığının oluştuğu gözlenmiştir.

Şekil 4.42 da flotasyon hücresinin üst kısmında net olarak görülebilen ve tatmin edici boyutlarda kabarcık oluşumu gözlenmiştir. Ayrıca hücre içinde ölü bölge oluşumu yok denecek kadar azdır.



Şekil 4.42. HL=10 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.43 ve Şekil 4.44 de hol çapının artmasına bağlı meydana gelen kabarcıkların boyutu ve sayısının arttığı gözlenmiştir. Hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin tamamına nüfuz ettiği söylenebilir.



Şekil 4.43. HL=10 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar



Şekil 4.44. HL=10 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.45 meydana gelen kabarcıkların küçük boyutlu ve seyrek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.45. HL=15 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.46 ve Şekil 4.47 de Froude sayısının artışına bağlı olarak havalandırma performansı yükselmiş. Oluşan hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin üst tarafında ip gibi dizildiği gözlenmiştir. Ölü bölge oluşumu olmamış, kabarcıklar hücrenin tamamını taramıştır.



Şekil 4.46. HL=15 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar



Şekil 4.47. HL=15 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.48 da meydana gelen kabarcıkların ince ve küçük boyutlu olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.48. HL=20 cm hol boyu, d=15 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

Şekil 4.49 ve Şekil 4.50 de görüldüğü üzere hava alma alanı artışına bağlı olarak sisteme giren hava miktarı da artmıştır. Bu sebeple meydana gelen kabarcıkların ebat ve sayısının arttığı gözlenmiştir. Ölü bölge oluşumu olmamış hava kabarcıklarının flotasyon hücresinin tümüne nüfuz ettiği görülmüştür.



Şekil 4.49. HL=20 cm hol boyu, d=30 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar



Şekil 4.50. HL=20 cm hol boyu, d=35 mm hol çapı ve K=%40 konduit açıklığı ile yapılan deney sonucu meydana gelen kabarcıklar

%40 açıklık oranlı konduit kullanılarak yapılan deneylerde tüm hol(baca) boylarında meydana gelen hava kabarcıklarının daha az ve küçük boyutta olduğu söylenebilir. Öte yandan 30 ve 35 mm hol çaplarında ise 15 mm lik hol çapının yaklaşık olarak 2 katı kadar hava kabarcığının olduğu gözlenmiştir.

%30 ve %40 açıklık oranına sahip kondütlerle yapılan deney gruplarındaki tüm parametrelerde meydana gelen kabarcıkların flotasyon hücresinin hemen hemen tümünü taradığı gözlenirken, %10 açıklık oranına sahip kondüitle gerçekleştirilen deney gruplarında bazı parametrelerde ölü bölge oluşumu net olarak gözlenmiştir.



5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayi devrimi diye adlandırılan günümüz koşullarında endüstride yaşanan gelişmeler, hızla artan dünya nüfusu ve buna paralel olarak günbegün artan evsel-endüstriyel atıklar ve bunların dönüştürülmesi gibi sorunlar, ortaya çıkan bu çevresel problemlerin çözümü için disiplinler arası çalışmalar yapılmasını zorunlu hale gelmiştir. Birçok farklı bilim dallarının ortak çalışma prensiplerini içeren flotasyon işlemi bahse konu olan problemlerin çözümü için günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Yaptığımız deneysel çalışmada, basınçlı kondütler ile desteklenmiş flotasyon hücrelerinde, konduit hava alma holünün(bacasının) genişlik ve uzunluğu gibi fiziksel parametrelerinin ve konduit açıklık oranlarının, havalandırma performansı dolayısıyla flotasyon verimliliği üzerindeki değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde konduit kapağı altındaki vena contracta olarak adlandırılan bölgedeki Froude sayısı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Tüm deney alternatiflerinde Froude sayısının artmasına paralel olarak hava giriş ve havalandırma performansı artmıştır. Yüksek Froude sayılarında havalandırma performans değeri maksimize olmuştur. Yüksek Q_a/Q_w oranına paralel olarak çok sayıda hava kabarcığı flotasyon hücresine girmiştir.
- Tüm deney gruplarında hava holü(bacası) çapının artmasıyla sisteme giren hava miktarı artmıştır. Hava holü çapının artması hava holü alanını artırmış dolayısıyla sisteme giriş yapan hava debisini artmıştır.
- Tüm deney gruplarında en iyi havalandırma performansı hava bacasının 35cm çapında olduğu alternatiflerde gözlemlenmiştir. Flotasyon hücresi içerisindeki hava kabarcığı dağılımının en uygun olduğu ve kabarcık boyutunun en büyük olduğu grup bu deney kısmında gözlemlenmiştir.
- Tüm deney gruplarında optimum havalandırma performansının 10-20 cm uzunluğunda hava holüne sahip alternatiflerde olduğu gözlemlenmiştir. Aynı froude sayısına sahip deney alternatiflerinde hava alma baca uzunluğunun çok önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Farklı kapak açıklıkları için hız değerlerinin artmasıyla hava giriş miktarında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. %40 olan kapak açıklığı değerinde en küçük

Qa/Qw değerleri oluşurken %10 kapak açıklığı değerinde en büyük Qa/Qw değerleri meydana gelmiştir

Bu çalışmada hidrolik prensipleri kullanılarak yapılan havalandırma işlemi ile malzeme ve evre mühendisliğinin konusu olan flotasyon işlemi yeni bir sistem kullanılarak birleştirilmiştir. Yeni nesil bir flotasyon ve havalandırma sistemi olan konduit ile desteklenmiş flotasyon kolonunda(hücresinde) konduit hava alma holünün fiziksel bazı özellikleri değiştirilerek bir takım deneysel ve gözlemsel çalışmalar yapılmıştır. Farklı disiplinleri bir araya getiren bu yeni sistem sayesinde flotasyon hücresine çok yüksek miktarda hava kabarcığı girişi sağlanmıştır. Hücre içerisine giren havanın miktarı üzerinde hava alma holn fiziksel özelliklerinin de önemli etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda konduit hava alma holünün (bacasının) fiziksel özelliklerinin flotasyon hücresine giren hava kabarcığı boyutu ve geometrisine etkilerinin daha kapsamlı olarak irdelenmesi faydalı olacaktır. Bunun için literatürde de belirtildiği üzere elektroresistivite teknikleri, ultrason teknikleri, kayma akısı analizi veya daha farklı görüntüleme yöntemlerinden faydalanılabilir. Zira literatüre göre flotasyon verimi hava kabarcığının geometrisi ve boyutu ile doğrudan ilişkilidir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, A., 1974. Aeration by Plunging Liquid Jet, Ph.D. Thesis, Loughborough University of Technology.
- Apted, R. W. and Novak, P., 1973. Some Studies of Oxygen Uptake at Weirs, *Proc. of the XV Congress*, IAHR Paper B23, Istanbul, 177–186.
- Avery, S. and Novak, P., 1978. Oxygen Transfer at Hydraulic Structures, *Journal of Hydraulic Div.*, ASCE, **104** (11), 1521–1540.
- Aytaç, A., 2017. Kapaklı Konduitli Flotasyon Hücreleri Fiziksel Parametrelerinin Havalandırma Performansına Etkisi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek lisans tezi*. Tezi, 72, Elazığ.
- Baylar, A. and Bagatur, T., 2000. Aeration Performance of Weirs, *Water SA*, **26** (4), 521–526.
- Baylar, A. and Emiroglu, M. E., 2003. Air Entrainment and Oxygen Transfer in a Venturi, Proceedings of the Institution of Civil Engineers. *Water & Maritime Engineering*, **156** (WM3), 249–255.
- Baylar, A., 2002. Savak Havalandırıcılarda Tip Seçiminin Oksijen Transferine Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baylar, A., Özkan, F. ve Ünsal, M., 2007. Serbest Yüzeyle Akım Sistemleri ile Sularda Hızlandırılmış Oksijen Transferi, III. *Ulusal Su Mühendisliği Bildiriler Kitabı*, s 37. İzmir.
- Baylar, A., Özkan, F. ve Ünsal, M., 2007. Suların Havalandırma Veriminin Arttırılmasında Kullanılabilecek Basınçlı Akım Sistemleri Iı. *Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu 10-14 Eylül İzmir*.
- Baylar, A., Unsal, M. and Ozkan, F., 2010. Hydraulic Structures in Water Aeration
- Bennett, A. 2006. Wastewater treatment: Green technologies rise to the bait, *Filtration & Separation*, Volume **43**(7), 12-14, 16-17.
- Brewis, T., 1991. Flotation Cells. *Mining Magazine*: 383–393.
- Brewis, T., 1996. Flotation cells. *Mining Magazine*, **160**(7): 18–24.
- Campbell, F. B. and Guyton, B. 1953. Air demand in gated outlet works. Proceedings of the 5th Congress on the International. *Association of Hydraulic Research*, Minnesota.
- Canpolat B., 2017. Kapaklı Konduitli Flotasyon Kolonlarının Havalandırma Performansının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Chanson, H. and Gualtieri, C., 2007. *Experimental analysis of Froude number effect on air entrainment in the hydraulic jump*. *Environ. Fluid Mech.* 7, 217-238.
- Chanson, H. and Gualtieri, C., 2008b. *Similitude and scale effects of air entrainment in hydraulic jumps*. *J. Hydr. Res.* 46(1), 35-44.
- Chanson, H. and Murzyn, F., 2008a. *Froude similitude and scale effects affecting air entrainment in hydraulic jumps*. World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a ASCE.
- Chanson, H. and Toombes, L., 2000. *Discussion of Stream Reaeration in Nonuniform Flow: Macroroughness Enhancement*, *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, **126** (3), 222–224.
- Chanson, H. and Toombes, L., 2002. *Experimental Study of Gas–Liquid Interfacial Properties in a Stepped Cascade Flow*. *Envir. Fluid Mech.*, **2** (3), 241–263.

- Chanson, H.**, 1995. *Air-water gas transfer at hydraulic jump with partially developed inflow*. *Water Res.*, IAWPRC, 29(10), 2247-2254 (ISSN 0043-1354).
- Chanson, H.**, 2006. *Air bubble entrainment in hydraulic jumps. Similitude and scale effects*. Report No. CH57/05, Dept. of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia, (ISBN 1864998423).
- Cheremisinoff, P.N.**, 1993. *Oil/water separation*. *Natl Environ J* 3:32–36.
- Çilek, C.E.**, 2006. *Mineral Flotasyonu, SDÜ Basımevi*, Isparta.
- Degner V.R. and Colbert, W.V.**, 1978. *Dispersed gas flotation process*. U.S. Patent, No: 4,110,210, dated 29.8.1978.
- Degner, V.R and Colbert, W.V.**, 1980. *Dispersed air flotation machine*. U.S. Patent, No: 4,226,706, dated 7. 8.1980
- Eckenfelder, W.W. Jr., O'Connor, D.J.**, 2013 *Biological waste treatment*. *Pergamon Press*, New York, NY.
- Eckenfelder, W.W. Jr.**, 1980. *Principles of water quality management*. *CBI Publishing*, Boston, MA.
- Emiroglu, M.E. and Baylar, A.**, 2003. *Study of the Influence of Air Holes along Length of Convergent–Divergent Passage of a Venturi Device on Aeration*, *Journal of Hydraulic Research*, 41 (5), : 513–520.
- Eroğlu, V.**, 1991. *Su Tasfiyesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası*, Sayı:1439, İstanbul.
- Escarameia, M.** 2007. *Investigating hydraulic removal of air from water pipelines*. The institution of Civil Engineers Water Management **I60**, 25-34.
- Essery, I.T.S., Tebbutt, T. H. Y. and Rasaratnam, S. K.**, 1978. *Design of Spillways for Reaeration of Polluted Waters*, Rep. 72, CIRIA, London, UK.
- Evans, G. M., Jameson, G. J. and Rielly, C. D.**, 1996. *Free Jet Expansion and Gas Entrainment Characteristics of a Plunging Liquid Jet*, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 12 (2), 142–149.
- Filho, A.J., Azevedo, A., Etchepare, R. and Rubio, J.**, 2016. *Removal of sulfate ions by dissolved air flotation (DAF) following precipitation and flocculation*. *International Journal of Mineral Processing*, 149: 1-8.
- Fuerstenau, M.C., Yoon, R.H. and Jameson, G.J.**, 2007. *Froth flotation : a century of innovation*. *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*, Littleton, Colo., 891.
- Gameson, A. L. H.**, 1957. *Weirs and Aeration of Rivers*, *Journal of the Institution of Water Engineers*, 11 (6), 477–490.
- Gardner, N.A.**, 1972. *Flotation techniques applied to the treatment of effluents*. *Effluent Water Treat J* 12:82.
- Hacıfazlıoğlu, H.**, 2007. *Madencilik*, Cilt 46, Sayı 3, 23-41.
- Haindl, K. and Sotornik, V.**, 1957. *Quantity of air drawn into a conduit by the hydraulic jump and its measurement by gamma radiation*. *Proc. 7 Congress I.A.H.R.* , Paper D31, 1-7.
- Hinze, J.O.**, 1955. *Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes*. *AIChE Journal*, 1(3):289-295.
- Kalinske, A.A. and Robertson, J.M.**, 1943. *Closed conduit flow*. *Transactions, ASCE*, **108**, 1435-1447.
- Katz, W.J. and Geinopolos, A.**, 1967. *Sludge thickening by dissolved air flotation*. *Water Pollut Control Fed* 39:946.

- Katz, W.J.**, 1960. *Dissolved air flotation as applied to the treatment of oil production waste and refinery waste*. API Drilling Prod Pract conference.
- Krofta, M. and Wang, L.K.**, 2000. *Flotation engineering, 1st edn. Technical Manual No. Lenox/1-06-2000/368*. Lenox Institute of Water Technology, Lenox, MA.
- Krofta, M. and Wang, L.K.**, 2000. *Flotation engineering. Lenox Institute of Water Technology, Lenox, MA, Technical Manual No. Lenox/01-05-2000/368, first edition, 255p*.
- Kusabiraki, D., Niki, H., Yamagiwa, K. and Ohkawa, A.**, 1990. "Gas Entrainment Rate and Flow Pattern of Vertical Plunging Liquid Jets", *Canadian J. Chem. Eng.*, 68 (6), 893–903.
- Labocha, M., Corsi, R. L. and Zytner, R. G.**, 1996. *Parameters Influencing Oxygen Uptake at Clarifier Weirs*, *Water Environment Research*, 68 (6), 988–994.
- Li, B., Tao, D., Ou, Z. and Liu, J.**, 2003 *Cyclomicrobubble column flotation of fine coal*. *Separation Science of Technology*, 38, 1125-1140.
- Lynch, A., Harbort, G. and Nelson, M.**, 2010. *History of Flotation. Spectrum Series*. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Lysne, D. K. and Guttormsen, O.**, 1971. Air demand in high regulated outlet works. *Proceedings of the 14th Congress of the International Association of Hydraulic Research*, Vol. 5, Paris, France.
- Maiken, E.**, 1995. Bubble decompression strategies. <http://www.cisatlantic.com>
- McKeogh, E. J. and Irvine, D. A.**, 1988 *Air Entrainment Rate and Diffusion Pattern of Plunging Liquid Jets*. *Chemical Engineering Science*, 36 (7), 1161–1172, 1981.
- Miskovic, S. And Luttrell, G.**, 2011. Comparison Of Two Bubble Sizing Methods For Performance Evaluation Of Mechanical Flotation Cells. *Roe-Hoan Yoon Symposium, SME 2011, Proceedings*.
- Miskovic, S.**, 2011. *An Investigation Of The Gas Dispersion Properties Of Mechanical Flotation Cells: An In-Situ Approach* December 14, Blacksburg, Virginia.
- Miskovic, S., Luttrell, G. and Bratton, R.**, 2011. *A New Modular Pilot-Scale Setup For Hydrodynamic And Metallurgical Flotation Performance Evaluation*. *Minerals Engineering*. December.
- Miskovic, S., Luttrell, G., Ragab, S. and Fayed, E.H.**, 2011. *Comparison Of Gas Dispersion Mechanisms For Forced-Air And Self-Aerated Mechanical Flotation Cells*. *Minerals Engineering*. December.
- Mortensen, J. D.**, 2009. *Factors affecting air entrainment of hydraulic jumps within closed conduits*. M. S. Thesis, Utah State University, Logan, Utah.
- Nakasone, H.**, 1987. *Study of Aeration at Weirs and Cascades*, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 113 (1), 64–81.
- Nave, C.R.**, 2010. *Hyperphysics. Department of Physics and Astronomy*. Georgia State University, GA. <http://www.gsu.edu>
- Novak P.**, 1994. *Improvement of Water Quality in Rivers by Aeration at Hydraulic Structure*. in *Water Quality and its Control* (HINO M. (Ed.)), International Association of Hydraulic Research, Madrid.
- Oguz, H. N.**, 1998. *Role of Surface Disturbances in The Entrainment of Bubbles by a Liquid Jet*, *J. Fluid Mech*, 372, 189–212.
- Ohl, C. D., Oguz, H. N. and Prosperetti, A.**, 2000. *Mechanism of Air Entrainment by a Disturbed Liquid Jet*, *Phys Fluids*, 12 (7), 1710–1714.
- Oveson, D. P.**, 2008. *Air demand in free flowing gated conduits*. M. S. Thesis, Utah State University, Logan, Utah. *Processes Water, Air, & Soil Pollution*, 210 87–100.

- Ozkan, F. , Baylar A. and Ozturk M.,** 2006b. *Air Entraining and Oxygen Tranfer in High-Head Gated Conduits*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, **159 (2)**, 139-143.
- Ozkan, F. , Ozturk M. and Baylar A.,** 2006a *Experimental Investigation of Air and Liquid Injection by Venturi Tubes*, Water and Enviromental Journal, 20 (3), 114-122.
- Ozkan, F. and Kaya, T.,** 2010. *Using Intelligent Methods to predict air-demand ratio in venturi weirs*, Advances in Engineering Software, Volume 41, Issue 9, September 2010, 1073-1079.
- Özkan, F.,** 2005. Basınçlı su borularında hava iletimi ve oksijen transferinin incelenmesi, *Doktora Tezi*. F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ozkan, F., Demirel, I.H., Tuna, M.C. and Baylar, A.,** 2015. *The Effect of Length of Free-Surface Gated Circular Conduit on Air-Demand Ratio and Aeration Efficiency*, Water Science and Technology: Water Supply, in press.
- Ozkan, F., Tuna, M.C., Baylar, A. and Ozturk, M.,** 2014. *Optimum air-demand ratio for maximum aeration efficiency in high-head gated circular conduits*, Water Science and Technology. **70(5)**, 871-877..
- Pryor, E.J,** 1965. *Principles of Froth Flotation, Mineral Processing*, Elsevier Publishing, New York.
- Rajaratnam, N.,** 1962 *Effect of air entrainment on stilling basin performance*. J. Central Board Irrigation Power, New Delhi **20**, 334-343.
- Ramirez, E.R.,** 1979. *Comparative physicochemical study of industrial waste-water treatment by electrolytic dispersed air and dissolved air flotation technologies*. *Proceedings of Purdue industrial waste conference*, Purdue University, West Lafayette, IN, **34**. 699.
- Roberts, K.L, Weeter, D.W. and Ball, R.O.,** 1978. Dissolved air flotation performance. *Proceedings of industrial waste conference*, vol 33. Purdue University, West Lafayette, IN, p 194.
- Sansalone Voon, J.E. and Srinivasan, V.,** 2001. Management of invasive species transported in ballast water by dissolved air flotation. *Proceedings of the second international conference on marine bioinvasions*, New Orleans, La, 9–11 Apr 2001, pp 119–120.
- Sene, K. J.,** 1988. *Air Entrainment by Plunging Jets*, Chemical Engineering Science, **43 (10)**, 2615–2623.
- Shammas, N.K. and Bennett, G.F.,** 2010. *Handbook of Environmental Engineering*, Volume 12: Flotation Technology. Humana Press.
- Shammas, N.K. and DeWitt, N.,** 1992. Flotation a viable alternative to sedimentation in wastewater treatment plants. *Water environment federation 65th annual conference, Proceedings of liquid treatment process symposium*, New Orleans, LA, 20–24 Sept 1992, pp 223–232.
- Shammas, N.K., Wang, L.K. and Hahn, H.H.,** 2010. Fundamentals of wastewater flotation, Chapter 4. In: Wang LK, Shammas NK, Selke WA, Aulenbach DB (eds.) *Flotation technology*. Humana Press, Totowa, NJ, pp 121–164.
- Shannon, W.T. and Buisson, D.H.,** 1980. *Dissolved air flotation in hot water*. Water Res **14**:759.
- Sharma, H.R.,** 1976. *Air–Entrainment in High Head Gated Conduits*, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 102(HY11), 1629–1646.
- Speerli, J.** 1999. *Air entrainment of free-surface tunnel flow*. *Proceedings of the 28th IAHR Congress*, Graz, Austria.
- Speerli, J., and W. H. Hager.** 2000. *Air-water flow in bottom outlets*, Canadian Journal of Civil Engineering 27: 454-462.
- Stahl, H. and Hager, W.H.,** 1999. Hydraulic Jump in Circular Pipes, *Canadian Journal of Civil Engineering*, **26**: 368-373.

- Tebbutt, T.H.Y., Essery, I. T. S. and Rasaratnam, S. K.,** 1977. *Reaeration Performance of Stepped Cascades*, J. Inst. Water Engrg. Sci., 31 (4), 285–297.
- Thene, J. R.,** 1988. Gas Transfer at Weirs Using the Hydrocarbon Gas Tracer Method with Headspace Analysis *MSc Thesis*, University of Minnesota, Minneapolis.
- Toombes, L. and Chanson, H.,** 2000. *Air–Water Flow and Gas Transfer at Aeration Cascades: A Comparative Study of Smooth and Stepped Chutes*, Proceedings of the International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, Zurich, Switzerland, March 22–24, 77–84.
- Travers, S.M. and Lovett, D.A.,** 1985. *Pressure flotation of abattoir wastewaters using carbon dioxide*. Water Res 19:1479.
- Tuna, M.C., Ozkan, F. and Baylar, A.,** 2014 *Experimental investigations of aeration efficiency in high-head gated circular conduits*, Water Science and Technology, 69(6), 1275–1281,7p.
- USACE (United States Army Corps of Engineers),** 1964. *Air demand-regulated outlet works*. Hydraulic Design Criteria, Sheet 050-1/2/3, 211-1/2, 255-1.
- Van de Sande, E. and Smith, J. M.,** 1973. *Surface Entrainment of Air by High Velocity Water Jets*, Chem. Eng. Sci., 28 (5), 1161–1168.
- Van der Kroon, G. T. N. and Schram, A. H.,** 1969. *Weir Aeration – Part I*, H₂O, No.22, 528–537.
- Van der Kroon, G. T. N. and Schram, A. H.,** 1969. *Weir Aeration – Part II*, H₂O, No.22, 538–545.
- Volesky, B. and Agathos, S.,** 1974. *Oil removal from refinery wastes by air flotation*. Water Quality Res J. Can 9:328–339.
- Wang, L.K., Shammass, N.K., Selke, W.A. and Aulenbach, D.B.,** 2010. *Handbook of Environmental Engineering*, Volume 12: Flotation Technology. HumanaPress.
- Wang, L.K. and Mahoney, W.J.,** 1994. *Treatment of storm run-off by oil water separation, flotation, filtration and adsorption*. Water Treat 9:223–233.
- Wang, L.K. and Wang, M.H.S.,** 1995. *Bubble dynamics and material balances of dissolved gas flotation process*. Water Treat 10: 41–54.
- Wang, L.K.,** 1985. *Theory and applications of flotation processes*, US Department of Commerce. National Technical Information Service, Springfield, VA. PB 86–194198/AS, 15p, Nov.
- Wang, L.K.,** 2006. Adsorptive bubble separation and dispersed air flotation. Wang LK, Hung YT, Shammass NK (eds.) Advanced physicochemical treatment processes. *Humana Press, Inc., Totowa, NJ*, 81–122.
- Wang, L.K., Fahey, E.M. and Wu, Z.,** 2005. Dissolved air flotation. In: Wang LK, Hung YT, Shammass NK (eds.) Physicochemical treatment processes. **Humana Press, Inc., Totowa, NJ**, 431–500.
- Web.
- <http://www.science.uva.nl>** 2010. Bubble rise in single capillaries – experimental set-up and procedure. Universteit Amsterdam, Kruislaan, Amsterdam, Netherlands.
- Wormleaton, P. R. and Soufiani, E.,** 1998. *Aeration Performance of Triangular Planform Labyrinth Weirs*, Journal of Environmental Engineering, ASCE, 124 (8), 709–719.
- Wormleaton, P.R. and Tsang, C.C.,** 2000. *Aeration Performance of Rectangular Planform Labyrinth Weirs*, Journal of Environmental Engineering, ASCE, 126 (5), 456–465.
- Yamagiwa, K., Ito, A., Kato, Y., Yoshida, M. and Ohkawa, A.,** 2001. *Effects of Liquid Property on Air Entrainment and Oxygen Transfer Rates of Plunging Jet Reactor*, J. Chem. Eng. Japan, **34 (4)**, 506–512.

- Yianatos, J., Panire, I. and Vinnett, L.,** 2016. *A new method for flotation rate characterization using top-of-froth grades and the froth discharge velocity*, Minerals Engineering, Volume 92, 242-247.
- Zhang, Wei.,** 2014 *Evaluation of effect of viscosity changes on bubble size in a mechanical flotation cell*, Transactions of Nonferrous Metals Society of China Volume **24(9)**, 2964–2968.
- Zhu, Y., Oguz, H. N. and Prosperetti, A.,** 2000. *On the Mechanism of Air Entrainment by Liquid Jets at a Free Surface*, J. Fluid Mech., **404**, 151–177.



ÖZGEÇMİŞ

Kürşat ŞEKERCİ, 1992 yılında Elazığ da doğdu. İlköğretimini Elazığ Tevfik Yaramanoğlu okulunda, orta öğretimini ise yine Elazığ Hıdır Sever Lisesinde tamamladı. 2011 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2015 yılında bitirdi. Yine 2015 yılında, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat mühendisliği bölümü Hidrolik Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitime hak kazandı. 2015 yılında atandığı Bingöl Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mekanik Anabilim Dalına araştırma görevlisi olarak atandı.

